

Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes

Universidade da Força Aérea

1T (FN) Gilson Teixeira de Macedo

**Habilidades neuropsicológicas identificadas em
operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva**

Rio de Janeiro

2025

1T (FN) Gilson Teixeira de Macedo

**Habilidades neuropsicológicas identificadas em
operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Centro de Educação
Física Almirante Adalberto Nunes e à
Universidade da Força Aérea, como
requisito para a conclusão do curso de
Pós-Graduação *Lato Sensu* em
Desempenho Físico do Combatente.

Orientador: CC (RM3-T) Bruno Ferreira Viana
Co-orientador: 1T (RM2-T) Leonardo Mendes Leal de Souza

Rio de Janeiro

2025

1T (FN) Gilson Teixeira de Macedo

Habilidades neuropsicológicas identificadas em operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes e à Universidade da Força Aérea, como requisito para a conclusão do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Desempenho Físico do Combatente.

Aprovado em de julho de 2025

Banca Examinadora:

CC (RM3-T) Bruno Ferreira Viana
Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes

1T (RM2-T) Leonardo Mendes Leal de Souza
Centro de Educação Física Almirante Adalberto Nunes

Bruno Ribeiro Ramalho de Oliveira
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

MACEDO, Gilson Teixeira de. Habilidades neuropsicológicas identificadas em operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para conclusão do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Desempenho Físico do Combatente. Rio de Janeiro – RJ, 2025.

INTRODUÇÃO: A atuação de operadores de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) em ambientes militares envolve mais do que o simples domínio técnico do equipamento. Esses profissionais enfrentam longos períodos de vigilância, tomada de decisões críticas em tempo real e alta carga cognitiva, o que os expõe a riscos psicológicos como estresse, fadiga mental e esgotamento emocional, mesmo à distância do campo de batalha. **OBJETIVO:** Esta revisão sistemática teve como objetivo investigar as habilidades neuropsicológicas essenciais ao desempenho de operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva. **MÉTODOS:** Uma busca abrangente foi realizada nas bases Medline, Lilacs, Web of Science, Scopus, Cochrane e Science Direct, conforme diretrizes PRISMA, com registro no PROSPERO (CRD420251105385). Foram incluídos estudos observacionais, qualitativos e experimentais que analisassem o desempenho cognitivo de operadores de SARP em tarefas complexas. **RESULTADOS:** Dos 478 estudos inicialmente identificados, 29 foram incluídos após triagem por critérios de elegibilidade. A análise revelou que o desempenho de operadores de SARP está diretamente associado a um conjunto integrado de funções executivas, com destaque para o planejamento, memória operacional, fluência, flexibilidade cognitiva, controle inibitório e tomada de decisão. Evidências também indicam a importância de esquemas mentais bem estruturados, suporte psicológico contínuo e adaptação ergonômica das interfaces operacionais. **CONCLUSÃO:** As operações remotas com SARP exigem um perfil neuropsicológico específico, centrado em habilidades executivas que sustentam a tomada de decisões, a atenção distribuída e a resiliência operacional. Quando essas competências não são desenvolvidas adequadamente, há maior risco de falhas cognitivas, erros operacionais e prejuízos à saúde mental dos operadores. Esta revisão destaca a importância de estratégias de seleção mais refinadas, programas de treinamento voltados ao ambiente operacional e monitoramento psicofisiológico contínuo para garantir segurança, eficácia e bem-estar nas operações remotas. **Palavras-chave:** operadores de SARP, competência neuropsicológica, carga cognitiva, vigilância remota, desempenho militar.

ABSTRACT

MACEDO, Gilson Teixeira de. Neuropsychological skills identified in UAV operators under high cognitive load conditions. Final Paper presented as a requirement for the completion of the *Lato Sensu* Postgraduate Course in Combatant Physical Performance. Rio de Janeiro – RJ, 2025.

INTRODUCTION: The operation of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) in military environments involves more than mere technical mastery of the equipment. These professionals are subjected to long periods of surveillance, real-time critical decision-making, and high cognitive demands, which expose them to psychological risks such as stress, mental fatigue, and emotional exhaustion, even at a distance from the battlefield. **OBJECTIVE:** This systematic review aimed to investigate the neuropsychological skills essential to the performance of RPAS operators in high cognitive load scenarios. **METHOD:** A comprehensive search was conducted in the Medline, LILACS, Web of Science, Scopus, Cochrane, and Science Direct databases, following PRISMA guidelines, with registration in PROSPERO (CRD420251105385). Observational, qualitative, and experimental studies addressing cognitive performance in complex drone operations were included. **RESULTS:** Out of 478 studies initially identified, 29 met the eligibility criteria and were included in the final analysis. The findings revealed that the performance of drone operators is directly associated with an integrated set of executive functions, particularly planning, working memory, fluency, cognitive flexibility, mental workload, and decision-making. Evidence also highlights the importance of well-developed mental schemas, ongoing psychological support, and ergonomic adaptation of operational interfaces. **CONCLUSION:** Remote drone operations require a specific neuropsychological profile centered on executive functions that support decision-making, distributed attention, and operational resilience. When these skills are not adequately developed or supported, there is an increased risk of cognitive failures, operational errors, and adverse effects on mental health. This review underscores the importance of refined selection strategies, neuroergonomic training programs, and continuous psychophysiological monitoring to ensure safety, efficiency, and well-being in remote military operations.

Keywords: drone operators; neuropsychological competence; cognitive load; remote surveillance; military performance.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 2 MÉTODOS | 8 |
| 2.1 PROTOCOLO E REGISTRO..... | 8 |
| 2.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA..... | 8 |
| 2.3 CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE DOS ESTUDOS INCLUÍDOS..... | 9 |
| 2.4 SELEÇÃO DOS ESTUDOS..... | 9 |
| 2.5 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS..... | 9 |
| 2.6 AVALIAÇÃO DE VIÉS E QUALIDADE..... | 9 |
| 3 RESULTADOS | 10 |
| 3.1 HABILIDADES NEUROPSICOLÓGICAS IDENTIFICADAS..... | 10 |
| 3.1.1 PLANEJAMENTO..... | 10 |
| 3.1.2 CONTROLE INIBITÓRIO..... | 12 |
| 3.1.3 TOMADA DE DECISÃO..... | 13 |
| 3.1.4 FLEXIBILIDADE COGNITIVA..... | 15 |
| 3.1.5 MEMÓRIA OPERACIONAL..... | 17 |
| 3.1.6 FLUÊNCIA..... | 19 |
| 3.2 AVALIAÇÃO DE VIÉS E QUALIDADE | 20 |
| 3.3 CARACTERÍSTICAS DOS ESTUDOS INCLUÍDOS | 21 |
| 4 DISCUSSÃO | 25 |
| 5 RECOMENDAÇÕES PRÁTICAS PARA O CFN | 27 |
| 5.1 SELEÇÃO DE OPERADORES..... | 28 |
| 5.2 CAPACITAÇÃO COGNITIVA..... | 28 |
| 5.3 ADAPTAÇÃO DAS DOUTRINAS OPERACIONAIS..... | 29 |
| 5.4 ERGONOMIA E DESIGN DE INTERFACES..... | 29 |
| 5.5 MONITORAMENTO DA SAÚDE MENTAL..... | 29 |
| 5.6 IMPLICAÇÕES PARA A GUERRA FUTURA..... | 30 |
| 6 CONCLUSÃO | 30 |
| REFERÊNCIAS | 31 |
| ANEXO 1 – DESCRITORES DESC/MESH | 34 |
| ANEXO 2 – FRASE DE BUSCA | 35 |
| ANEXO 3 – FLUXOGRAMA DE SELEÇÃO DE ESTUDO | 36 |

1 INTRODUÇÃO

Os estudos no campo do desempenho humano operacional geralmente possuem uma abordagem sob a perspectiva do desempenho físico, entretanto a atividade de operadores de SARP impõe um outro tipo de demanda majoritária, a neuropsicológica (Fuster, 2013; Diamond, 2013; Lezak et al., 2012; Ayaz et al., 2012). A atividade dos operadores de Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP) em ambientes militares exige um conjunto de habilidades cognitivas que são frequentemente exigidas, sendo relacionadas à vigilância prolongada, reconhecimento e exposição a conteúdos de grande impacto emocional (Chappelle et al., 2014; Jahanpour et al., 2020; Singh et al., 2021).

Embora esses operadores estejam fisicamente afastados do campo de batalha, sua atuação impacta diretamente os desfechos das operações militares, que envolvem decisões críticas com implicações humanas, tecnológicas e táticas (Chappelle et al., 2014). O avanço dos SARP redefiniu a lógica da guerra, ao deslocar o operador para ambientes remotos, mas mantendo-o sob intensa pressão psicológica. O distanciamento físico e o envolvimento psicológico gera um ambiente propício ao surgimento de esgotamento moral, dissociação emocional e vigilância mental prolongada (Norrholm et al., 2023), podendo culminar em fadiga, estresse ocupacional crônico ou até transtornos como o TEPT (Rahmani et al., 2023).

Diversas funções executivas são mobilizadas durante a operação de drones em missões de reconhecimento e ataque. A literatura destaca diversas habilidades requeridas para o desempenho eficiente desses operadores como a capacidade de realizar planejamentos (Grindley et al., 2025), controle das emoções (Diamond, 2013; Kostenko et al., 2022), tomada de decisão em situações de estresse (Liu et al., 2016; Jahanpour et al., 2020), capacidade de se adaptar rapidamente a diversos sistemas operacionais (Hauptman et al., 2024), capacidade de reter informações (Wickens & McCarley, 2008) e facilidade em operar vários modelos de SARP (Schiphof-Godart et al., 2018). Esses componentes se tornam ainda mais exigidos quando há acúmulo de estímulos visuais, monitoramento de múltiplas interfaces e crescente automação dos sistemas, fatores que ampliam o risco de erros em cenários incertos ou de tempo limitado.

Apesar do uso crescente de SARP em zonas de conflito, ainda são escassos os estudos que integrem de forma sólida os aspectos neuropsicológicos dessa atividade. Permanecem lacunas quanto aos efeitos da carga mental, à adaptação à automação e às respostas individuais diante do estresse operacional prolongado, aspectos cruciais para a segurança e o desempenho da missão.

Diante disso, este estudo tem como objetivo identificar e investigar as habilidades neuropsicológicas essenciais ao desempenho de operadores de SARP, por meio de uma revisão sistemática da literatura..

2 MÉTODOS

A presente revisão sistemática foi conduzida seguindo as recomendações do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020. O desenho metodológico buscou garantir transparência, reprodutibilidade e rigor científico, com etapas validadas por dois pesquisadores independentes para minimizar vieses.

2.1 Protocolo e registro

O protocolo foi registrado prospectivamente no PROSPERO (CRD420251105385) garantindo a rastreabilidade do processo e a prevenção de duplicações.

2.2 Estratégia de busca

Um pesquisador experiente realizou buscas abrangentes em abril de 2025 nas seguintes bases de dados:

1. Medline (via PubMed);
2. Lilacs (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde);
3. Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL);
4. Science Direct;
5. Scopus; e
6. Web of Science.

Os termos de busca foram definidos com base nos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e Medical Subject Headings (MeSH), adaptados para cada base de dados. A estratégia combinou operadores booleanos “AND” para interseção de palavras-chave (ex.: ”drone operators” AND “cognitive abilities”) e “OR” para sinônimos e variações terminológicas (ex.: ”remotely piloted aircraft” OR “UAV operators”). Os descritores completos estão detalhados no Anexo 1 e as frases de busca utilizadas nas bases de dados estão detalhadas no Anexo 2. Para garantir a abrangência da busca, foram incluídos estudos em todos os idiomas e sem restrição temporal, além de varredura manual das referências bibliográficas dos artigos selecionados.

2.3 Critérios de elegibilidade dos estudos incluídos

Os estudos incluídos na presente revisão atenderam aos seguintes critérios, de acordo com a estratégia PECOS:

População: Operadores de SARP ;

Exposição: Atividades operacionais envolvendo o uso de SARP, como vigilância prolongada, tomada de decisão sob pressão, operação de sistemas automatizados e monitoramento tático;

Comparação: não se aplica, uma vez que o foco está no desempenho e nas habilidades cognitivas dos operadores;

Outcome: serão investigadas as habilidades neuropsicológicas em operadores de SARP; e

Tipos de estudo: Estudos empíricos que avaliem componentes da função executiva e o desempenho cognitivo de operadores de SARP.

2.4 Seleção dos estudos

As avaliações de elegibilidade dos estudos foram conduzidas com rigor e transparência, sendo o processo de triagem realizado através dos software Rayyan, e Zotero. As duplicatas foram removidas antes de serem selecionadas por título e resumo. Em seguida, os textos completos dos estudos restantes foram recuperados e eventuais discordâncias foram resolvidas por meio de discussões em grupo ou por mediação de um supervisor.

Para documentar cada etapa, foi elaborado um fluxograma (Anexo 3) que detalha o número de estudos identificados, excluídos e incluídos em cada fase, assim como os motivos de exclusões.

2.5 Extração e análise dos dados

Foram extraídos os seguintes dados dos estudos selecionados: autor, ano, participantes, objetivo, metodologia e principais resultados.

2.6 Avaliação de viés e qualidade

Para garantir a confiabilidade dos resultados, o risco de viés dos estudos foi avaliado

utilizando a ferramenta de qualidade dos Institutos Nacionais de Saúde (NIH). Cada estudo foi pontuado de 0 a 14, considerando critérios como clareza metodológica e representatividade da amostra. Escores entre 10-14 indicaram baixo risco de viés, 5-9 risco moderado e 0-4 alto risco. Estudos com alto risco não foram encontrados, logo, sem exclusão.

3 RESULTADOS

Inicialmente, 469 estudos foram identificados inicialmente nas bases PubMed/MEDLINE, Lilacs, Cochrane e Science Direct, Web of Science e Scopus, dos quais 249 foram selecionados após triagem de títulos e resumos, para análise qualitativa. Além desses, sete estudos adicionais foram incluídos por meio de busca manual em literatura institucional, totalizando 258 artigos analisados. O fluxograma PRISMA (Anexo 3) detalha os estudos que foram removidos por não atenderem aos critérios PECOS (População, Exposição, Comparação, Desfechos e Tipos de Estudos). Ao final, vinte e nove estudos atenderam a todos os critérios e foram incluídos na revisão.

3.1 Habilidades neuropsicológicas identificadas

A síntese dos estudos revelou seis componentes das funções executivas de elevada importância para operadores de SARP em contextos de alta carga cognitiva: Planejamento, controle inibitório, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva, memória operacional e fluência.

3.1.1 Planejamento

O planejamento é uma função executiva de alto nível que permite um indivíduo antecipar ou prever ações futuras, estabelecer metas, organizar comportamentos e monitorar suas ações de forma a concretizar objetivos específicos, mesmo estando em condições de incerteza ou instabilidade (Diamond, 2013; Lezak et al., 2012; Norman; Shallice, 1986). Essa habilidade requer o bom funcionamento de várias funções cognitivas simultaneamente e está relacionada à atividade do córtex pré-frontal dorsolateral, que é uma região importante na regulação dos comportamentos voluntários, na simulação de cenários futuros e na previsão das consequências das determinadas ações (Fuster, 2013; Goldberg, 2001).

No contexto operacional de SARP, a habilidade de planejamento é essencial, pois as

missões exigem que os operadores antecipem falhas técnicas que podem ocorrer, adaptem suas estratégias diante a variáveis táticas e tomem decisões em tempo real, com base em informações por vezes incompletas ou confusas (Grindley et al., 2025). Esse processo é apoiado por esquemas mentais, que são estruturas cognitivas ou organização mental que armazena experiências anteriores e estratégias aprendidas ao longo do tempo. Esses esquemas ajudam o operador a identificar padrões, prever algumas situações e tomar decisões rápidas, mesmo em situações novas ou sob pressão (Fuster, 2013; Goldberg, 2001).

Os operadores experientes tendem a desenvolver esquemas mentais que facilitam a identificação e priorização de informações importantes, o que reduz a carga cognitiva durante a execução de tarefas complexas, como as missões de vigilância prolongadas (Gu et al., 2022). Esses esquemas mentais, são desenvolvidos por meio de treinamento e repetição, melhorando a capacidade de resposta em ambientes dinâmicos aprimorando a atenção e memória operacional (Fuster, 2013; Diamond, 2013).

Em operações militares, a habilidade de planejamento vai além de uma simples preparação de rota de voo, visto que passa a incluir o estudo de riscos operacionais e dilemas éticos relacionados ao uso de força letal, vigilância de civis e avaliação de danos colaterais (Chappelle et al., 2014). Esse tipo de planejamento exige que o operador antecipe eventos táticos e consequências morais e psicológicas associadas às suas decisões, o que ocasiona uma ativação conjunta de regiões frontais responsáveis pela regulação emocional e avaliação de valores morais (Goldberg, 2001). Operadores submetidos a situações de risco prolongado ativam mais intensamente áreas do cérebro ligadas ao planejamento e elaboração de estratégias, como mostram estudos com neuroimagem funcional (Ayaz et al., 2012; Bernhardt et al., 2019).

Algumas tecnologias têm sido utilizadas para ampliar a capacidade de planejamento dos operadores. As interfaces de realidade aumentada permitem a visualização integrada de rotas, ameaças e objetivos inerentes ao ambiente operacional em tempo real, o que facilita a previsão de eventos e a formulação de estratégias sem sobrecarregar os canais tradicionais de percepção (Ruano et al., 2017). O uso de parâmetros de eletroencefalografia (EEG) e espectroscopia funcional no infravermelho próximo (fNIRS), tem ajudado a desenvolver treinamentos personalizados, baseados na identificação dos padrões de ativação pré-frontal durante as tarefas de previsão e análise de contingência (Ayaz et al., 2012; Bernhardt et al., 2019).

Em resumo, o planejamento é uma habilidade fundamental nos operadores de SARP, especialmente em situações de alta carga cognitiva, dilemas morais e ambientes de incerteza.

A literatura demonstra que essa competência está ligada tanto a áreas neurais específicas quanto a estratégias cognitivas que são desenvolvidas através da prática, treinamento e adaptação tecnológica (Fuster, 2013; Goldberg, 2001; Diamond, 2013).

3.1.2 Controle inibitório

O controle inibitório é uma função executiva essencial que permite indivíduos controlar impulsos automáticos, evitar reações inadequadas e resistir a distrações (Diamond, 2013; Lezak et al., 2012). Essa habilidade é fundamental para a regulação cognitiva, emocional e comportamental, e está diretamente relacionada à saúde funcional do córtex pré-frontal, nas áreas orbitofrontal e ventrolateral (Fuster, 2013; Goldberg, 2001). O controle inibitório desempenha um importante papel no que tange a tomada de decisões rápidas, situações de risco e em ambientes de alta carga cognitiva, onde o indivíduo deve manter o foco e evitar ações impulsivas, mesmo que esteja diante de grandes estímulos emocionais (Diamond, 2013).

Os operadores de SARP enfrentam desafios extenuantes, onde o controle inibitório é constantemente exigido, principalmente em tarefas de vigilância multitarefa, em que diversas fontes de informação visual e auditiva disputam a atenção do operador. Esses profissionais precisam manter o foco por longos períodos em imagens repetitivas e pouco dinâmicas, ao mesmo tempo em que devem estar prontos para identificar eventos críticos, o que exige que eles sejam capazes de suprimir ações impulsivas a estímulos irrelevantes, como alarmes falsos ou problemas de interação (Kostenko et al., 2022). Registros eletroencefalográficos (EEG) mostram que a sobrecarga cognitiva pode prejudicar esse controle, aumentando os erros em tarefas de seleção e organização de alvos, diminuindo a precisão operacional (Matthews et al., 2017; Li et al., 2022). Esses efeitos estão ligados a uma redução na ativação das regiões frontais do cérebro, responsáveis pelos ajustes da atenção seletiva e pela filtragem de estímulos conflitantes (Fuster, 2013).

Segundo o modelo do Sistema Supervisor Atencional, o controle inibitório é acionado principalmente em situações novas, não rotineiras, quando não há esquemas automáticos prontos previamente para serem utilizados, exigindo uma intervenção para escolher a resposta mais adequada (Norman; Shallice, 1986). Esse tipo de situação é comum em missões operacionais com SARP, onde há frequente mudança de cenários, interferências inesperadas e situações de pressão que exigem decisões rápidas onde só há disponibilidade de informações incompletas e confusas.

Em situações de pressão ou onde há incerteza de alvos, o controle inibitório se torna ainda mais necessário. A presença de alvos semelhantes, distrações visuais ou mudanças na missão podem levar o operador a tomar decisões precipitadas e impulsivas. Pesquisas experimentais mostraram que operadores submetidos a essas condições tender a cometer mais erros de seleção ou priorizar tarefas de forma inadequada (Liu et al., 2016). Contudo, operadores mais experientes parecem possuir um maior controle sobre seus impulsos, o que pode ser fruto de treinamentos estruturados e corretivos e melhor adaptação no cumprimento das multitarefas (Carretta, 2013; Diamond, 2013).

O controle inibitório também atua no campo emocional. Operadores de SARP em missões militares, estão frequentemente expostos a imagens impactantes, como pessoas em áreas de risco ou alvos móveis. A capacidade de reduzir reações emocionais diante dessas imagens é essencial para evitar interferência afetiva na tomada de decisões táticas (Chappelle et al., 2014). Assim, o controle inibitório não atua apenas sobre respostas de atenção, mas também sobre reações emocionais que poderiam prejudicar o julgamento moral e técnico.

Alguns treinamentos têm buscado aprimorar essa habilidade através de simulações de cenários de pressão temporal e que tenham muitas distrações. Essas intervenções tem demonstrado bons resultados no aumento do controle emocional, do foco e na redução de frequência das respostas impulsivas, especialmente entre operadores iniciantes (Liu et al., 2016; Carretta, 2013). A resposta fisiológica dos operadores durante esses treinamentos tem sido monitorada por meio de variáveis como frequência cardíaca e padrões de EEG, indicando que o controle inibitório está ligado à estabilidade fisiológica (Matthews et al., 2017; Kostenko et al., 2022).

Desta maneira, o controle inibitório constitui uma base essencial para um desempenho eficiente e seguro em operações com SARP. Ele apoia a capacidade de manter o foco, filtrar estímulos, evitar erros impulsivos e regular reações emocionais diante de situações intensas. A presença do controle inibitório impacta diretamente a vigilância, a precisão das respostas e o julgamento das situações pelos operadores, principalmente quando estão expostos a múltiplas tarefas (Diamond, 2013; Fuster, 2013; Goldberg, 2001; Norman; Shallice, 1986).

3.1.3 Tomada de decisão

A tomada de decisão é uma função executiva central que envolve a capacidade de escolher, entre diferentes alternativas, aquela que parece ser mais adequada baseada em critérios racionais, em diversas circunstâncias do ambiente (Diamond, 2013; Goldberg, 2001).

Esse processo é regulado principalmente pelo córtex pré-frontal ventromedial, dorsolateral e orbitofrontal, que são regiões responsáveis por integrar informações sensoriais, memória de trabalho, emoções e regras aprendidas (Fuster, 2013). A tomada de decisão pode ativar esquemas mentais por meio do Sistema Atencional Supervisor (SAS), que é um mecanismo cerebral que ajuda o operador a sair do modo automático e o faz pensar ativamente nas ações que podem ser tomadas quando uma situação exige esforço mental, respostas rápidas ou apresentam cenários de incerteza. Ao contrário de comportamentos automatizados, a decisão consciente exige a inibição de impulsos, flexibilidade para mudar de estratégia e a capacidade de prever consequências (Norman; Shallice, 1986).

Os operadores de SARP enfrentam um grande desafio quando se trata de tomar decisões, especialmente em situações marcadas por incertezas, pressão temporal e sobrecarga de informações (Jahanpour et al., 2020). Missões de vigilância prolongada, ataques cirúrgicos e operações em ambientes civis demandam que o operador avalie continuamente uma série de dados visuais, mapas táticos, planos de voo e condições meteorológicas, integrando essas fontes informacionais para gerar uma resposta única, rápida e precisa (Liu et al., 2016). Em meio a essas circunstâncias, a fadiga cognitiva pode afetar a sustentação da atenção, aumentar o tempo de resposta e reduzir a qualidade das decisões, mesmo entre operadores experientes (Jahanpour et al., 2020).

Algumas ferramentas tecnológicas vêm sendo aplicadas para mitigar os efeitos da sobrecarga decisória. Uma dessas soluções é o GiCoMAF (Geographical Contextual Map Filtering), um sistema de inteligência artificial que ajuda a filtrar e priorizar dados críticos em mapas táticos, reduzindo o número de informações de baixa importância que podem desviar a atenção do operador (Zak et al., 2022). Outro exemplo é o uso de displays cognitivos aumentados, que destacam trajetórias, alvos e fazem alertas de risco de forma automática, facilitando a tomada de decisão sem aumentar a carga mental imposta ao operador (Lu et al., 2013). Essas inovações funcionam como extensões do sistema executivo, aliviando a pressão sobre a memória operacional e melhorando a conexão entre a percepção da informação e a ação subsequente.

Entretanto, a complexidade da tomada de decisão pelos pilotos de drone não se limita à parte técnica. Em contextos militares, os operadores se separam com conteúdos emocionalmente impactantes, como imagens ao vivo de possíveis alvos humanos sendo atingidos por artefatos explosivos, que pode gerar conflitos morais, hesitação e, em alguns casos, podem desencadear sintomas de estresse pós-traumático (Norrholm et al., 2023). O julgamento em situações instáveis, onde não há clareza sobre a legitimidade de um ataque,

exige habilidades cognitivas, estabilidade emocional e um forte senso ético. Otto e Webber (2013) ressaltam que a distância física do campo de batalha não elimina os dilemas éticos e, por vezes, pode intensificar o sentimento de responsabilidade moral, uma vez que o operador tem tempo e clareza para refletir sobre o impacto de suas decisões. A dissonância entre o papel técnico e a implicação moral do ato decisório pode comprometer o desempenho e afetar a saúde mental do operador a longo prazo (Chappelle et al., 2014; Norrholm et al., 2023).

Do ponto de vista neurocognitivo, operadores que tomam decisões de forma mais eficientes demonstram uma maior atividade em regiões pré-frontais e menor variabilidade nos sinais de EEG durante as fases críticas de uma missão. Isso sugere que utilizem estratégias mais automatizadas a fim de sofrerem menor interferência emocional (Boehm et al., 2021). Esses resultados indicam que o desempenho na tomada de decisão não depende apenas da velocidade de processamento, mas também da capacidade de manter padrões estáveis de avaliação e antecipação mesmo sob grande estresse (Fuster, 2013; Diamond, 2013).

Portanto, a tomada de decisão por operadores de SARP representa uma habilidade complexa, que envolve raciocínio analítico, avaliação ética, controle emocional e adaptação rápida a mudanças. Sua efetividade depende tanto da maturidade de sistemas cognitivos superiores quanto da capacidade de integrar diversas fontes de informação em ambientes de alta carga cognitiva (Goldberg, 2001; Norman; Shallice, 1986; Diamond, 2013).

3.1.4 Flexibilidade cognitiva

Flexibilidade cognitiva é uma função executiva que permite ao indivíduo alternar entre diferentes tarefas, refinar estratégias diante de mudanças no ambiente, ajustar padrões de comportamento com base em novas informações e lidar com múltiplas fontes de dados simultaneamente (Diamond, 2013; Lezak et al., 2012). Essa habilidade é essencial para a adaptação a eventos dinâmicos e imprevisíveis, especialmente em situações onde as regras previamente aprendidas deixam de ser eficazes e uma nova forma de pensar ou agir se torna necessária (Goldberg, 2001). No modelo de Norman e Shallice (1986), a flexibilidade está ligada à capacidade do Sistema Atencional Supervisor (SAS) alternar esquemas mentais ativos, suprimindo processos automatizados que não são mais úteis, por estratégias alternativas mais eficazes. Do ponto de vista neuroanatômico, a flexibilidade cognitiva é sustentada principalmente por circuitos que envolvem o córtex pré-frontal dorsolateral e medial, que são responsáveis pela capacidade de adaptação do comportamento diante de mudanças no ambiente (Fuster, 2013).

Para operadores de sistemas aéreos remotamente pilotados (SARP), possuir boa flexibilidade cognitiva é fundamental, pois as operações exigem frequentemente transições rápidas entre modos de controle de voo autônomo e manual, além de mudanças repentinas nas prioridades de missão, como a troca entre reconhecimento, vigilância ou ação tática direta (Grindley et al., 2025). Esses profissionais lidam com sistemas complexos que envolvem várias camadas de automação e fluxos de informação paralelos e, por isso, devem ser capazes de ajustar e adaptar seus processos mentais em tempo real. A existência de falhas nessa transição entre estados operacionais podem gerar um cenário no qual o operador perde a consciência situacional ao reassumir o controle manual, sem compreender completamente o que ocorreu durante a fase autônoma (Grindley et al., 2025). Esse tipo de falha resulta da dificuldade de reorientar a atenção e se adaptar cognitivamente a novos contextos sob pressão.

Ferramentas tecnológicas vêm sendo desenvolvidas para apoiar essa transição, como as interfaces de realidade aumentada (AR) que combinam dados do ambiente e do sistema em uma única tela, facilitando a reorganização de prioridades cognitivas (Ruano et al., 2017). Esse tipo de interface permite que o operador alterne seu foco entre tarefas distintas sem precisar abandonar completamente os processos mentais anteriores, reduzindo o custo cognitivo dessa mudança e mantendo a eficiência situacional. Além disso, sistemas baseados em monitoramento fisiológico em tempo real, como os modelos de EEG, conseguem identificar momentos de sobrecarga e adaptar automaticamente o nível de automação, redistribuindo a carga cognitiva do operador de forma fluida (Boehm et al., 2021). Essa abordagem visa reduzir o impacto das transições recorrentes e proteger as funções cognitivas em momentos críticos.

O desenvolvimento da flexibilidade cognitiva também está ligado ao acúmulo de experiência operacional. Operadores com mais experiência demonstram maior habilidade em alternar tarefas, priorizar metas e alterar estratégias em função de novas informações, com menor tempo de transição e taxa reduzida de erro (Gu et al., 2022). Isso se deve à consolidação de esquemas mentais mais eficazes, que facilitam o processo de adaptação a situações desconhecidas, além de fortalecer os mecanismos de monitoramento prolongado do ambiente. Esses esquemas permitem que o operador mantenha mapeado simultaneamente vários panoramas dos possíveis estados da missão e transite entre eles com fluidez à medida que se transformam (Fuster, 2013).

Em operações de alta complexidade, como missões com múltiplos SARP, a flexibilidade cognitiva se torna ainda mais importante. O operador deve ser capaz de coordenar ações em diferentes áreas de atuação, alternar entre tarefas de comando e

monitoramento, e responder a mudanças inesperadas, como perda de sinal, emergência técnica ou alteração da missão, com eficiência e precisão. A capacidade de manter vários objetivos ativos na mente e reorganizá-los de forma fluida transmite uma expressão clara dessa competência executiva (Diamond, 2013).

Portanto, a flexibilidade cognitiva garante que os operadores de SARP se adaptem diante de sistemas variáveis, hostis e conflitantes. Essa habilidade pode ser treinada, monitorada e apoiada por tecnologia, e sua eficácia está diretamente relacionada à segurança, fluidez e sucesso das operações em tempo real (Boehm et al., 2021; Gu et al., 2022; Grindley et al., 2025).

3.1.5 Memória operacional

A memória operacional ou memória de trabalho é uma função executiva que fornece a capacidade de manter e manipular ativamente informações relevantes durante curtos períodos de tempo para realizar tarefas complexas, tomar decisões, resolver problemas ou manter a atenção focada em múltiplos estímulos simultaneamente (Diamond, 2013; Lezak et al., 2012). Essa função executiva é um sistema de trabalho mental que combina armazenamento temporário de informações com processamento cognitivo ativo, sendo essencial para a execução de qualquer tarefa que envolva sequenciamento, monitoramento, avaliação e adaptação a eventos futuros (Fuster, 2013). Do ponto de vista neuroanatômico, a memória operacional depende da integridade do córtex pré-frontal dorsolateral, que se comunica com áreas parietais e temporais para integrar informações visuais, espaciais e verbais (Goldberg, 2001). No modelo de Norman e Shallice (1986), a memória operacional atua como suporte para o sistema atencional supervisor, permitindo o acesso e manipulação de informações relevantes para a execução de uma determinada tarefa enquanto novas informações são processadas ou decisões são ajustadas.

Para os operadores de SARP, a memória operacional é requerida durante missões em tempo real, nas quais é necessário acompanhar simultaneamente coordenadas geográficas, lista de alvos, planos de vôo, comandos auditivos e alertas visuais de sistemas autônomos (Diamond, 2013). Essa função permite manter na mente elementos essenciais da missão enquanto se responde a novas demandas emergentes. Operadores mais experientes ter maior capacidade de retenção de dados e conseguem reorganizar essas informações com mais fluidez e menos interferência (Gu et al., 2022). Por outro lado, operadores iniciantes ou aqueles sob estresse podem enfrentar sobrecarga cognitiva, o que pode prejudicar a

manutenção de dados relevantes, provocando lapsos de consciência situacional e decisões equivocadas (Li et al., 2022).

Algumas ferramentas de interface e filtragem inteligente têm sido utilizadas para reduzir a sobrecarga na memória operacional. Um exemplo é o sistema GiCoMAF, que filtra e prioriza informações visuais em mapas de comando e controle (C2), eliminando elementos redundantes ou irrelevantes e ajudando o operador a focar nos dados mais importantes (Zak et al., 2022). Tais sistemas reduzem a demanda cognitiva ao permitir que o operador processe menos dados de forma consciente, mantendo apenas as informações mais críticas na memória operacional. Além disso, pesquisas com monitores fisiológicos, especialmente EEG, mostram que os operadores apresentam sinais de queda de desempenho quando sua memória operacional está sobrecarregada, o que pode ser previsto e ajustado dinamicamente pelas interfaces adaptativas (Boehm et al., 2021).

A forma como as interfaces são organizadas tem um grande impacto na eficiência da memória operacional. Mapas sobrecarregados com ícones, alarmes ou trajetórias sobrepostas podem dificultar a identificação de padrões ou informações importantes, aumentando o tempo de decisão e o risco de erro (Back et al., 2021). Porém, uma abordagem visual mais simples, a organização de informações por prioridade e o uso de cores intuitivas favorecem a retenção de informações em curto prazo e facilitam a rápida recuperação, principalmente em fases críticas da missão (Ruano et al., 2017).

A experiência acumulada pelos operadores durante as missões, contribui diretamente para a automação de processos mentais, permitindo que a memória operacional se concentre em novas informações. Operadores com esquemas mentais bem desenvolvidos conseguem antecipar etapas, direcionar sua atenção de forma seletiva e evitar distrações provocadas por estímulos secundários, o que permite melhor eficiência da memória operacional mesmo em situações de pressão intensa (Gu et al., 2022; Fuster, 2013). Essa habilidade pode ser treinada e aprimorada através de simulações em ambientes mais complexos, tornando a memória operacional mais resistente a interferência e mais eficiente em tarefas simultâneas.

Portanto, a memória operacional é fundamental para manter a continuidade do pensamento funcional durante o voo remoto de sistemas aéreos, sendo essencial para a integração de dados em tempo real, monitoramento da missão e tomada de decisão diante de variadas demandas. Sua eficiência depende do funcionamento neurobiológico, do design dos sistemas de interface, da experiência do operador e das tecnologias utilizadas (Boehm et al., 2021; Gu et al., 2022; Zak et al., 2022; Diamond, 2013).

3.1.6 Fluência

Fluência é uma habilidade neuropsicológica relacionada à rapidez, precisão e adaptabilidade na execução de tarefas cognitivas ou motoras, especialmente quando a demanda é contínua. No contexto das funções executivas, ela envolve a capacidade de acessar, integrar e aplicar conhecimentos de forma eficiente, com o mínimo de interferência e sem comprometer a qualidade da resposta (Diamond, 2013; Lezak et al., 2012). Embora muitas vezes associada à fluência verbal ou motora em avaliações clínicas, no contexto operacional a fluência ganha um significado mais amplo: refere-se à habilidade de interagir com interfaces complexas, interpretar dados rapidamente e realizar ações coordenadas em tempo real (Fuster, 2013). Essa fluência executiva exige um funcionamento eficaz dos circuitos frontais e parietais, com um papel importante do córtex pré-frontal dorsolateral, que regula a ativação de esquemas mentais e a supressão de estratégias ineficientes (Goldberg, 2001; Norman; Shallice, 1986).

Entre operadores de sistemas aéreos remotamente pilotados (SARP), a fluência se apresenta na forma desses profissionais navegarem por diferentes sistemas de interface, compreendendo facilmente mapas táticos, interpretando alertas e realizar comandos técnicos com eficiência. Os operadores experientes demonstram possuir maior fluidez na alternância entre os modos de automação, leitura e interpretação de dados visuais densos, o que ajuda a reduzir o tempo de resposta a eventos críticos e melhora a consciência situacional (Back et al., 2021). Essa competência está intimamente ligada à familiaridade com a interface, ao treinamento prático e à capacidade de manter a atenção estável mesmo após longos períodos de vigilância.

De igual maneira, recursos tecnológicos têm sido utilizados para otimizar a fluência operacional. Um exemplo é o display de situação aumentada, que apresenta dados sensoriais, trajetórias e informações essenciais em um layout intuitivo, reduzindo o esforço cognitivo necessário para interpretar a situação (Boehm et al., 2021). Ao eliminar a necessidade de alternar entre várias janelas ou painéis, esses sistemas ajudam a acelerar o tempo de resposta do operador e favorecem o processamento cognitivo contínuo durante a missão. Além disso, ferramentas de design ergonômico, com hierarquia visual clara, agrupamento de dados por prioridade e codificação de cores, contribuem diretamente para o aumento da fluência em ambientes de alta complexidade (Trevathan et al., 2020).

A fluência pode ser afetada negativamente pela fadiga mental, que compromete tanto a precisão quanto a velocidade das respostas. Para os operadores de SARP, esse é um efeito

comum após enfrentar horas de monitoramento contínuo, e se resulta em hesitação, erros de interpretação ou lentidão na execução de comandos (Schiphof-Godart et al., 2018). Treinamentos que incluem feedback auditivo personalizado e simulações realistas têm se mostrado eficazes no desenvolvimento da fluência, especialmente entre operadores iniciantes, permitindo que o padrão de resposta seja mantido mesmo diante algumas distrações ou interrupções inesperadas (Liu et al., 2016; Carretta, 2013).

Uma outra dimensão da fluência é a habilidade de fazer a transição entre funções cognitivas distintas, como atenção, memória operacional e planejamento. Em missões multitarefas, a capacidade de alternar entre o monitoramento de alvos, análise de rotas e ajuste de comandos exige que o operador mantenha uma fluidez constante entre diferentes domínios da função executiva. Essa competência é favorecida por esquemas mentais bem estruturados, experiências anteriores com sistemas semelhantes e interface adaptada ao usuário (Gu et al., 2022; Boehm et al., 2021).

Sumariamente, a fluência é um componente crucial das funções executivas em operadores de SARP, pois garante a continuidade das ações, um desempenho satisfatório e eficácia operacional sob pressão. A fluência depende de diversos fatores, como o funcionamento neurobiológico, a experiência do operador, a qualidade do treinamento e interfaces adaptadas (Diamond, 2013; Back et al., 2021; Boehm et al., 2021; Trevathan et al., 2020). Garantir uma fluência duradoura em ambientes de alta carga cognitiva é um dos principais desafios para esses profissionais.

3.2 Avaliação de Viés e Qualidade

Avaliação do risco de viés dos estudos incluídos na seção de resultados, excluindo-se livros e artigos conceituais, por não se enquadrarem na categoria de estudos observacionais ou experimentais. Foi utilizada a ferramenta dos Institutos Nacionais de Saúde (NIH) com base nos 14 critérios da Ferramenta de Avaliação de Qualidade para Estudos Observacionais. A pontuação total de cada estudo varia de 0 a 14, com classificação final do risco de viés: baixo (10–14), moderado (5–9) e alto (0–4), sendo S= “sim” e N= “não”.

| AUTOR/ ANO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | Total | Risco |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|-------|-------|
| Ayaz et al. (2012) | S | S | S | N | S | S | S | N | S | N | S | N | S | S | 10 | Baixo |
| Bernhardt et al. | S | S | S | S | S | S | S | S | S | N | S | N | S | S | 12 | Baixo |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----------|--|
| (2019) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gu et al. (2022) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | S | 14 | Baixo | |
| Grindley et al. (2025) | S | S | S | S | S | N | S | N | S | S | S | N | S | S | 11 | Baixo | |
| Boehm et al., (2021) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | N | S | S | S | S | 13 | Baixo | |
| Jahanpour et al. (2020) | S | S | S | N | S | S | S | N | S | N | S | N | S | S | 10 | Baixo | |
| Kostenko et al. (2022) | S | S | S | S | S | S | N | S | S | N | S | N | S | S | 11 | Baixo | |
| Lu et al. (2013) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | N | S | N | S | S | 12 | Baixo | |
| Matthews et al. (2017) | S | S | S | N | S | S | N | N | S | N | S | N | S | S | 9 | Moderado | |
| Chappelle et al. (2014) | S | S | S | S | N | N | S | N | S | N | S | N | S | S | 9 | Moderado | |
| Zak et al. (2022) | S | S | S | S | S | S | S | S | S | N | S | S | S | S | 13 | Baixo | |
| Back et al. (2021) | S | S | S | S | N | N | S | N | S | N | S | N | S | S | 9 | Moderado | |
| Li et al. (2022) | S | S | S | S | S | S | S | N | S | S | S | N | S | S | 12 | Baixo | |
| Diamond (2013) | S | S | S | N | N | N | N | N | S | N | S | N | N | S | 6 | Moderado | |
| Liu et al. (2016) | S | S | S | S | N | S | N | N | S | N | S | N | S | S | 9 | Moderado | |
| Carretta (2013) | S | S | S | S | N | N | N | N | S | N | S | N | S | S | 8 | Moderado | |
| Ruano et al. (2017) | S | S | S | S | N | S | S | N | S | N | S | N | S | S | 10 | Baixo | |
| Norrholm et al. (2023) | S | S | N | S | N | N | N | N | S | N | S | N | N | N | 5 | Moderado | |
| Schiphof-Godart et al. (2018) | S | S | S | N | N | N | N | N | S | N | S | N | N | N | 5 | Moderado | |

3.3 Características dos estudos incluídos

| AUTOR/ ANO | TÍTULO DO ARTIGO | POPULAÇÃO | MÉTODO | PRINCIPAIS RESULTADOS | HABILIDADE ENVOLVIDA |
|--------------------|--|---------------------------------|--|---|--|
| Ayaz et al. (2012) | The effect of mental schema evolution on mental workload | Operadores de SARP em simulação | Estudo experimental com EEG e simulação de tarefas | Esquemas mentais reduzem a carga cognitiva e melhoram as transições entre | Flexibilidade cognitiva, memória operacional |

| | | | | tarefas | |
|-------------------------|--|--|--|--|--|
| Bernhardt et al. (2019) | Avoiding automation surprise in UAV systems | Operadores de UAV com sistema automatizado | Análise qualitativa com modelo de ciclo perceptual | Erros aumentam quando os operadores não entendem perfeitamente como funcionam os sistemas de automação | Planejamento, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva |
| Gu et al. (2022) | Facilitating the Work of Unmanned Aerial Vehicle Operators using GiCoMAF | Operadores militares de micro-UAV | Avaliação empírica de sistema de filtragem GiCoMAF | Redução de carga cognitiva e aumento da consciência situacional | Memória operacional, tomada de decisão |
| Grindley et al. (2025) | Combining cognitive work analysis and empirical evaluations to understand map use by UAV operators | Operadores de SARP em campo | Estudo de observação e análise de mapas | Uma interface sobrecarregada prejudicam a percepção situacional | Memória operacional, fluência |
| Boehm et al., (2021) | Real-time prediction of short-timescale cognitive workload | Operadores em simulação | Modelagem de carga cognitiva via EEG | Permite adaptação em tempo real da interface com base na carga mental | Memória operacional, flexibilidade cognitiva |
| Jahanpour et al. (2020) | Subjective and objective assessments of mental workload for UAV operations | Operadores em ambientes simulados | Medições subjetivas e fisiológicas (EEG) | Alta carga reduz controle inibitório e memória operacional | Controle inibitório, memória operacional |
| Kostenko et al. (2022) | Executive functions | Nada consta | Estudo teórico | Define e diferencia funções executivas como controle inibitório e flexibilidade | Base conceitual para todas as categorias |
| Lu et al. | Design and test of a | Operadores em | Experimento | O uso do display | Tomada de |

| | | | | | |
|-------------------------|--|--|--|--|---|
| (2013) | situation-augmented display for an unmanned aerial vehicle monitoring task | simulação de monitoramento UAV | com comparação entre display convencional e display aumentado | de realidade aumentada reduziu tempo de resposta e melhorou a acurácia sob carga cognitiva. | decisão, Fluência |
| Matthews et al. (2017) | Effect of time pressure and target uncertainty on human operator performance | Operadores simulados | Experimento com pressão temporal e incerteza de alvos | Pressão de tempo afeta o desempenho e aumenta erros | Tomada de decisão, fluência |
| Chappelle et al. (2014) | Predictive Validity of Pilot Selection Instruments | Treinamento militar inicial com UAVs | Avaliação de simuladores e desempenho de novatos | Treinamento melhora fluência e controle sob pressão | Fluência, controle inibitório |
| Zak et al. (2022) | Augmented Reality Tool for the Situational Awareness of UAV Operators | Operadores em ambiente simulado com RA | Desenvolvimento e teste de ferramenta de RA | Melhora a consciência situacional e facilita o planejamento | Planejamento, flexibilidade cognitiva |
| Back et al. (2021) | Remote warfare with intimate consequences | Operadores de RPA militares | Estudo com base em sintomas clínicos e entrevistas | Exposição a imagens sensíveis causa fadiga moral e TEPT | Tomada de decisão |
| Li et al. (2022) | Mental workload assessments of aerial photography missions performed by novice UAV operators | 30 operadores novatos | Avaliação subjetiva e fisiológica de carga mental durante voo fotográfico com SARP | Maior carga cognitiva leva a mais erros e menor controle inibitório; aprendizes têm dificuldade em multitarefa | Controle inibitório, memória operacional |
| Diamond (2013) | Executive Functions | Nada consta | Estudo teórico sobre funções executivas | Define as três principais funções executivas: controle inibitório, | Controle inibitório, memória operacional, flexibilidade cognitiva |

| | | | | | |
|-------------------------------|---|--------------------------------------|---|--|--|
| | | | | memória operacional e flexibilidade cognitiva | |
| Liu et al. (2016) | Effect of time pressure and target uncertainty on human operator performance and workload | 20 operadores simulados | Manipulação de pressão temporal e ambiguidade em tarefas com SARP simulados | Pressão de tempo e incerteza aumentam a carga mental e os erros de decisão | Tomada de decisão, controle inibitório, fluência |
| Carretta (2013) | Predictive Validity of Pilot Selection Instruments for Remotely Piloted Aircraft Training Outcome | 551 candidatos à Força Aérea dos EUA | Estudo longitudinal correlacional | Testes cognitivos preditores de sucesso em treinamento; operadores com melhor controle emocional têm desempenho superior | Controle inibitório, fluência |
| Ruano et al. (2017) | Augmented Reality Tool for the Situational Awareness Improvement of UAV Operators | 25 operadores simulados | Experimento com ferramenta de realidade aumentada em ambiente simulado | Aumenta a consciência situacional, reduz erros, melhora tempo de resposta | Planejamento, flexibilidade cognitiva, fluência |
| Norrholm et al. (2023) | Remote Warfare with Intimate Consequences: Psychological Stress in RPA Personnel | 227 militares | (RPA) Survey clínico com escalas de TEPT | Operadores de SARP expostos a combate apresentam sintomas de estresse e fadiga moral | Tomada de decisão, controle inibitório |
| Schiphof-Godart et al. (2018) | Drive in Sports: How Mental Fatigue Affects Endurance Performance | Nada consta | Estudo sobre fadiga mental e desempenho | Fadiga afeta o controle executivo, vigilância e fluência cognitiva | Fluência |

4 DISCUSSÃO

Os resultados desta revisão sistemática mostram que operar os SARP, sobretudo em contextos militares e de vigilância prolongada, requer um conjunto complexo e interconectado de funções executivas. A análise dos 29 estudos incluídos identificou seis habilidades neuropsicológicas essenciais para o desempenho eficaz em ambientes de alta carga cognitiva: planejamento, controle inibitório, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva, memória operacional e fluência. Tais resultados estão alinhados com modelos clássicos da neuropsicologia, que apontam o córtex pré-frontal como núcleo funcional dessas habilidades cognitivas superiores (Fuster, 2013; Goldberg, 2001; Diamond, 2013; Lezak et al., 2012).

O planejamento se destaca como uma competência estratégica para operadores de SARP. Em missões militares, essa função não se limita ao traçamento de trajetos, mas também engloba a antecipação de riscos técnicos, éticos e táticos. Evidências demonstram que os operadores experientes desenvolvem esquemas mentais preditivos que os ajudam a organizar cenários complexos, aprimorando a alocação de seus recursos cognitivos e prevendo falhas operacionais com antecedência (Gu et al., 2022; Grindley et al., 2025). Fuster (2013) relaciona essa competência ao funcionamento do córtex pré-frontal dorsolateral, que é responsável por identificar e compreender relações de causa e efeito em tempo futuro, mesmo em situações adversas com escassez de informação e também à simulação de contingências. Na prática, essa habilidade permite que o operador mantenha foco nos objetivos da missão mesmo diante de múltiplas variáveis instáveis.

O controle inibitório, por sua vez, é indispensável para suprimir impulsos, resistir a distrações e filtrar estímulos irrelevantes em ambientes repletos de informações. O monitoramento de diversos sistemas, alarmes falsos e alertas simultâneos, exigem que o operador mantenha uma vigilância contínua e seletiva. Essa habilidade está bem documentada como base para a autorregulação emocional e a tomada de decisões sob pressão (Diamond, 2013; Norman; Shallice, 1986). Os estudos com EEG demonstram que, em situações de sobrecarga cognitiva, a atividade associada ao controle inibitório diminui, favorecendo a ocorrência de respostas impulsivas, períodos de desatenção e lentidão na tomada de decisões (Li et al., 2022; Matthews et al., 2017). Esse padrão impacta negativamente tanto a segurança operacional quanto o cumprimento dos objetivos traçados.

A tomada de decisão se destaca como uma das funções mais exigentes e delicadas na atuação com SARP, especialmente em operações militares com potencial letal. Além da necessidade de integrar rapidamente dados sensoriais e geográficos, os operadores enfrentam

decisões com profundas implicações morais e psicológicas, como a autorização de ataques remotos. Além disso, os estudos revelam que essas situações podem gerar conflito moral, hesitação e abalo da autoconfiança (Norrholm et al., 2023; Otto; Webber, 2013). A exposição frequente a imagens sensíveis e eventos com consequências letais diretas a humanos tem sido associada a sintomas de estresse pós-traumático e fadiga moral, reforçam a importância das variáveis afetivas, individuais e situacionais ao criar modelos de decisão mais realistas e éticos para ambientes automatizados.

A flexibilidade cognitiva mostrou-se essencial para lidar com sistemas que são parcialmente autônomos. Os operadores precisam ser ágeis ao alternar entre modos de controle humano e automatizado, se adaptar às mudanças inesperadas da missão e reorganizar prioridades conforme a situação exigir. Essa habilidade, associada ao Sistema Atencional Supervisor (Norman; Shallice, 1986), permite que eles interrompam as rotinas automáticas e ajustem suas estratégias diante do imprevisto. A literatura aponta que ferramentas como realidade aumentada e interfaces adaptadas baseadas em EEG auxiliam essa transição cognitiva ao fornecer feedback visual e suporte para o redirecionamento da atenção (Ruano et al., 2017; Boehm et al., 2021). Os operadores mais flexíveis demonstraram se adaptar melhor a falhas técnicas, responder mais rapidamente e maior resiliência sob pressão.

A memória operacional é a base do entendimento situacional e da execução de tarefas simultâneas. Durante as operações com SARP, o operador precisa manter e manipular informações como coordenadas, alertas, imagens, comunicações e comandos em tempo real. Os estudos indicam que a sobrecarga de dados pode ultrapassar a capacidade da memória operacional, levando a erros de julgamento e decisões incompatíveis com a missão (Back et al., 2021; Zak et al., 2022). Possuir esquemas mentais bem estruturados facilita a seleção de informações relevantes e a atualização constante dentro de um ambiente, favorecendo a tomada de decisões rápidas e precisas mesmo sob alta carga cognitiva (Gu et al., 2022).

A fluência operacional, definida como a capacidade de executar ações coordenadas de forma ágil e precisa, aparece como uma competência transversal às demais funções executivas. Ela depende da harmonia entre o processamento cognitivo, a experiência acumulada e o design da interface (Boehm et al., 2021). Interfaces bem projetadas, que aliviam a carga visual e seguem princípios de ergonomia cognitiva, facilitam o fluxo de ações e melhoram o desempenho (Trevathan et al., 2020). Por outro lado, a fadiga mental, comum após longos períodos de monitoramento, pode afetar negativamente a fluência, aumentando erros e retardando as reações (Schiphof-Godart et al., 2018). Os treinamentos com simulações realistas e feedback sensorial adaptado foram eficazes na manutenção dessa competência,

principalmente para operadores iniciantes (Liu et al., 2016; Carretta, 2013).

A análise integrada dos estudos mostra que essas funções executivas não atuam de maneira isolada. O desempenho de operadores de SARP depende de uma interação dinâmica entre planejamento, memória operacional, tomada de decisão, controle inibitório, flexibilidade e fluência. Essa interdependência destaca a importância de avaliações neuropsicológicas e intervenções que considerem os sistemas cognitivos integrados. As ferramentas combinadas, como EEG, simulações em tempo real e escalas subjetivas, mostraram-se mais eficazes em capturar essas interações do que os testes isolados.

Por fim, os dados coletados indicam algumas aplicações práticas relevantes. Os protocolos de seleção baseados em funções executivas podem ajudar a identificar candidatos mais adequados ao perfil de operador de SARP. Já, os treinamentos personalizados, fundamentados em dados fisiológicos e neurocognitivos, tendem a reduzir falhas críticas, otimizar o tempo de aprendizado e aumentar a segurança das operações. Além disso, o desenvolvimento de sistemas adaptáveis, capazes de reconhecer os limites cognitivos do operador e que permitam ajustar a carga informacional, se apresenta como uma área promissora na engenharia de interfaces e na neuroergonomia militar.

Apesar dos sólidos resultados encontrados, ainda permanecem algumas limitações na literatura atual. A maioria dos estudos analisados possui amostras pequenas, muitas vezes compostas por participantes inexperientes ou que passaram por simulações. Faltam estudos longitudinais e pesquisas em missões reais que investiguem a complexidade das demandas executivas em batalha. Também são poucos os estudos que consideram as variáveis morais, afetivas e sociais na análise dos sistemas de automação.

Ainda assim, esta revisão proporciona uma base conceitual com evidências sólidas que amplia a compreensão das exigências neuropsicológicas na operação de SARP. Ao destacar a importância das funções executivas na segurança, precisão e resiliência operacional, este trabalho contribui para o avanço da psicologia militar, da neuroergonomia e do design centrado no humano, abrindo portas para novas estratégias de seleção, treinamento e suporte ao operadores de SARP.

5 APLICAÇÕES PRÁTICAS PARA O CORPO DE FUZILEIROS NAVAIS

As evidências obtidas nesta revisão sistemática oferecem subsídios valiosos para o aperfeiçoamento de práticas no âmbito do Corpo de Fuzileiros Navais (CFN), especialmente no que tange à formação, seleção e emprego operacional de operadores de Sistemas Aéreos

Remotamente Pilotados (SARP) em ambientes de guerra moderna. O avanço tecnológico nas Forças Armadas tem exigido uma mudança de mentalidade: o combatente contemporâneo deve ser capaz de operar sistemas autônomos que exigem alta complexidade cognitiva, em tempo real e sob intenso estresse operacional. Essa realidade reforça a necessidade de considerar as funções executivas como um dos fundamentos da prontidão cognitiva do militar.

5.1 Seleção de operadores

Os resultados indicam que operadores com maior habilidade em planejamento, controle inibitório e flexibilidade cognitiva apresentam desempenho superior em missões que envolvem múltiplas variáveis táticas, pressão temporal e dilemas éticos. Portanto, no que tange a seleção de operadores recomenda-se a incorporação de testes neuropsicológicos padronizados para triagem de operadores, voltados à identificação de indivíduos com alta resiliência cognitiva, autocontrole e raciocínio estratégico. Ferramentas já estabelecidas, como a Bateria de Avaliação Frontal (FAB), Wisconsin Card Sorting Test (WCST) ou Stroop Test, usados para avaliar a função executiva, especificamente a flexibilidade cognitiva e controle inibitório, podem ser adaptadas às necessidades militares, além da possível inclusão de simulações operacionais como parte do processo seletivo.

5.2 Capacitação cognitiva

A capacitação de operadores de SARP pode ser aprimorada com a inclusão de módulos de treinamento cognitivo baseados em simulações progressivas, feedback em tempo real (EEG ou auditivo) e análise de tomada de decisão em cenários de incerteza. Os dados mostram que operadores iniciantes apresentam limitações significativas em multitarefa e controle inibitório, mas essas dificuldades podem ser reduzidas com treinamentos graduais focados na adaptação à sobrecarga de informações, pressão moral e alternância de modos automatizados. Também, se faz interessante, a inclusão de cenários de tomada de decisão moral nos simuladores táticos, a fim de treinar a resistência ao desconforto cognitivo em contextos que envolvem o emprego letal de força.

5.3 Adaptação das doutrinas operacionais

A estruturação doutrinária de missões com SARP deve reconhecer as limitações da carga cognitiva humana e propor diretrizes claras para a divisão de tarefas, alternância de turnos, tempo máximo de vigilância contínua. Os dados mostram que operadores submetidos a longos períodos de monitoramento apresentam quedas significativas de fluência e memória operacional, o que pode comprometer a tomada de decisão. Assim, doutrinas que regulem o tempo de operação contínua, a alternância entre operadores e o suporte entre pares podem mitigar os riscos operacionais decorrentes da fadiga mental.

5.4 Ergonomia e design de interfaces

As tecnologias dos SARP podem usar interfaces que se adaptem ao funcionamento cognitivo, seguindo os princípios da ergonomia neurofuncional. Os estudos indicam que mapas com excesso de informações, alertas repetitivos ou interfaces mal organizadas aumentam significativamente a carga mental do operador. Portanto, é interessante a aquisição de sistemas que implementem layouts intuitivos, filtros inteligentes de dados com base no contexto geográfico e integrem sensores com priorização de alertas críticos. Interfaces que utilizam codificação por cores, agrupamento de dados e assistentes visuais e auditivos, tendem a melhorar a fluência e diminuir o risco de erros operacionais.

5.5 Monitoramento da saúde mental

As evidências de sobrecarga emocional, hesitação moral e risco de transtornos psiquiátricos em operadores de SARP, mesmo em ambientes remotos, destacam a necessidade do desenvolvimento de protocolos de acompanhamento psicológico e suporte psicossocial contínuo. A exposição a imagens de ataques letais, decisões incoerentes ou falhas operacionais pode gerar disfunções executivas e sintomas como TEPT, insônia, culpa moral ou desconexão afetiva. Portanto, além do exame psicotécnico inicial, é recomendável a aplicação de instrumentos periódicos de rastreio cognitivo e emocional, como a Escala de Estresse Percebido, Inventário de Fadiga, PHQ-9, e a implementação de canais de apoio psicológico acessíveis a esses militares.

5.6 Implicações para a guerra futura

A presença de SARP em conflitos modernos, incluindo operações de reconhecimento, vigilância, ataque, apoio aéreo aproximado ou interdição de área, tem se expandido. Isso acarreta uma remodelação do papel do combatente clássico, que deixa de ser apenas um agente físico e passa a incorporar atributos de um operador cognitivo especializado, capaz de integrar homem e máquina em ambientes de incerteza. As habilidades neuropsicológicas identificadas nesta revisão são, portanto, competências estratégicas que devem ser levadas em consideração na formação deste combatente operador de SARP.

6 CONCLUSÃO

A presente revisão sistemática permitiu identificar e organizar as principais funções executivas envolvidas na atuação de operadores de Sistemas Aéreos Remotamente Pilotados (SARP) sob alta carga cognitiva. Foram destacadas seis habilidades neuropsicológicas fundamentais: planejamento, controle inibitório, tomada de decisão, flexibilidade cognitiva, memória operacional e fluência.

Esses achados demonstram que o desempenho eficaz de operadores de SARP exige um perfil cognitivo especializado, capaz de sustentar ações estratégicas sob pressão, com alto grau de autorregulação emocional e adaptabilidade. No contexto das Forças Armadas, os resultados evidenciam a relevância de considerar essas competências nos processos de seleção, treinamento e no desenvolvimento de tecnologias mais alinhadas às demandas cognitivas da guerra moderna.

Além disso, os estudos indicam que muitas dessas habilidades são treináveis, o que reforça o valor de estratégias neuroergonômicas, simulações realistas e suporte psicocognitivo contínuo. Assim, a prontidão operacional passa a integrar, de forma mais ampla, não apenas atributos físicos, mas também as capacidades executivas que sustentam a tomada de decisão e a resiliência do combatente remoto.

REFERÊNCIAS

- AYAZ, Hasan et al. **Optical brain monitoring for operator training and mental workload assessment.** *NeuroImage*, v. 59, n. 1, p. 36-47, jan. 2012. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.06.023.
- BACK, Yonatan et al. **Combining cognitive work analysis and empirical evaluations to understand map use by operators of small carry-on UAVs.** *Applied Ergonomics*, v. 90, p. 103218, jan. 2021. DOI:10.1016/j.apergo.2020.103218.
- BERNHARDT, Kyle A. et al. **The effects of dynamic workload and experience on commercially available EEG cognitive state metrics in a high-fidelity air traffic control environment.** *Applied Ergonomics*, v. 77, p. 83–91, maio 2019. DOI:10.1016/j.apergo.2019.01.008.
- BOEHM, Udo et al. **Real-time prediction of short-timescale fluctuations in cognitive workload.** *Cognitive Research: Principles and Implications*, v. 6, n. 1, 2021. DOI:10.1186/s41235-021-00289-y.
- CARRETTA, Thomas R. **Predictive validity of pilot selection instruments for remotely piloted aircraft training outcome.** *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, v. 84, n. 1, p. 47–53, jan. 2013. DOI:10.3357/asm.3441.2013.
- CHAPPELLE, Wayne et al. **An analysis of post-traumatic stress symptoms in United States Air Force drone operators.** *Journal of Anxiety Disorders*, v. 28, n. 5, p. 480–487, jun. 2014. DOI:10.1016/j.janxdis.2014.05.003.
- DIAMOND, Adele. **Executive functions.** *Annual Review of Psychology*, v. 64, p. 135–168, jan. 2013. DOI:10.1146/annurev-psych-113011-143750.
- FUSTER, Joaquín M. **Cognitive functions of the prefrontal cortex.** 5. ed. New York: Oxford University Press, 2013. DOI: 10.3389/conf.fnins.2010.14.00001
- GOLDBERG, Elkhonon. **The executive brain: frontal lobes and the civilized mind.** New York: Oxford University Press, 2001. DOI: 10.1080/15294145.2002.10773402
- GRINDLEY, Ben et al. **Avoiding automation surprise: Identifying requirements to support pilot intervention in automated Uncrewed Aerial Vehicle (UAV) flight.** *Applied Ergonomics*, v. 127, p. 104516, set. 2025. DOI:10.1016/j.apergo.2025.104516.
- GU, Heng et al. **The effect of mental schema evolution on mental workload measurement: an EEG study with simulated quadrotor UAV operation.** *Journal of Neural Engineering*, 19 abr. 2022. DOI:10.1088/1741-2552/ac6828.
- HAUPTMAN, Allyson I.; FLATHMANN, Christopher; MCNEESE, Nathan J. **Adapting to the human: A systematic review of a decade of human factors research on adaptive autonomy.** *Applied Ergonomics*, v. 120, p. 104336, out. 2024. DOI:10.1016/j.apergo.2024.104336.

JAHANPOUR, Emilie S. et al. **Cognitive fatigue assessment in operational settings: A review and UAS implications**. IFAC-PapersOnLine, v. 53, n. 5, p. 330–337, 2020. DOI:10.1016/j.ifacol.2021.04.188.

KOSTENKO, Alexandre; RAUFFET, Philippe; COPPIN, Gilles. **Supervised classification of operator functional state based on physiological data: Application to drones swarm piloting**. Frontiers in Psychology, v. 12, 2022. DOI:10.3389/fpsyg.2021.770000.

LEZAK, Muriel D. et al. **Neuropsychological assessment**. 5. ed. New York: Oxford University Press, 2012. Journal of the Internationalista Neuropsychological Society. 2013;19(4):488-489. DOI:10.1017/S1355617713000337

LI, Kai Way et al. **Mental workload assessments of aerial photography missions performed by novice unmanned aerial vehicle operators**. Work, v. 73, n. 4, p. 1177–1189, dez. 2022. DOI:10.3233/WOR-211222.

LIU, Dahai et al. **Effect of time pressure and target uncertainty on human operator performance and workload for autonomous unmanned aerial system**. International Journal of Industrial Ergonomics, v. 51, p. 52–58, fev. 2016. DOI:10.1016/j.ergon.2015.01.010.

LU, Jen-Li; HORNG, Ruey-Yun; CHAO, Chin-Jung. **Design and test of a situation-augmented display for an unmanned aerial vehicle monitoring task**. Perceptual and Motor Skills, v. 117, n. 1, p. 145–165, ago. 2013. DOI: 10.2466/26.22.pms.117x10z7

MATTHEWS, Gerald et al. **Metrics for individual differences in EEG response to cognitive workload: Optimizing performance prediction**. Personality and Individual Differences, v. 118, p. 22–28, nov. 2017. DOI:10.1016/j.paid.2017.03.002.

NORMAN, Donald A.; SHALLICE, Tim. **Attention to action: Willed and automatic control of behavior**. In: Davidson, R. J.; Schwartz, G. E.; Shapiro, D. (Eds.). Consciousness and Self-Regulation, v. 4. New York: Plenum Press, 1986. p. 1–18.

NORRHOLM, Seth D. et al. **Remote warfare with intimate consequences: Psychological stress in service members and veteran remotely-piloted aircraft (RPA) personnel**. Journal of Mental Health & Clinical Psychology, v. 7, n. 3, p. 37–49, dez. 2023. DOI:10.29245/2578-2959/2023/3.1289.

OTTO, Jean L.; WEBBER, Bryant J. **Mental health diagnoses and counseling among pilots of remotely piloted aircraft in the United States Air Force**. Medical Surveillance Monthly Report (MSMR), v. 20, n. 3, p. 3–8, 2013. PMID: 23550927.

RAHMANI, Hoda; WECKMAN, Gary R. **Working under the shadow of drones: Investigating occupational safety hazards among commercial drone pilots**. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, v. 12, n. 1, p. 1–17, ago. 2023. DOI:10.1080/24725838.2023.2251009.

RUANO, Susana et al. **Augmented reality tool for the situational awareness improvement of UAV operators**. Sensors, v. 17, n. 2, p. 297, fev. 2017. DOI:10.3390/s17020297.

SCHIPHOF-GODART, Lieke; ROELANDS, Bart; HETTINGA, Florentina J. **Drive in sports: How mental fatigue affects endurance performance.** *Frontiers in Psychology*, v. 9, 2018. DOI:10.3389/fpsyg.2018.01383.

SINGH, Gaganpreet; CHANEL, Caroline P. C.; ROY, Raphaëlle N. **Mental workload estimation based on physiological features for pilot-UAV teaming applications.** *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 15, 2021. DOI:10.3389/fnhum.2021.692878.

TREVATHAN, Jarrod P. et al. **Facilitating the work of unmanned aerial vehicle operators using artificial intelligence: An intelligent filter for command-and-control maps to reduce cognitive workload.** *Human Factors*, v. 62, n. 6, p.901–917, 2020. DOI:10.1177/00187208221081968.

WICKENS, Christopher D.; McCARLEY, Jason S. **Applied attention theory.** In: *Applied attention theory*. Boca Raton: CRC Press, 2008. DOI: 10.1201/9781003081579

ZAK, Yuval; PARMET, Yisrael; ORON-GILAD, Tal. **Facilitating the work of unmanned aerial vehicle operators using artificial intelligence: An intelligent filter for command-and-control maps to reduce cognitive workload.** *Human Factors*, 2022. DOI:10.1177/00187208221081968.

ANEXO 1

| DESCRITORES | Cognitive Skills | Unmanned Aerial Devices |
|--------------------|--|--|
| Sinônimos | Neuropsychological Functions Mental Workload Situational Awareness Cognitive Abilities Cognitive Performance | Drone Operators Drone Pilots Unmanned Aircraft Systems (UAS) Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) |

ANEXO 2

| BASE | FRASE DE BUSCA |
|-----------------------|---|
| Medline | ("Unmanned Aerial Vehicles" OR "UAV operators" OR "drone pilots") AND ("Cognitive Skills" OR "Neuropsychological Functions" OR "Mental Workload" OR "Situational Awareness") |
| Lilacs | ("Unmanned Aerial Vehicles" OR "Drones") AND ("Cognitive Skills" OR "Mental Workload" OR "Situational Awareness" OR "Neuropsychological Competencies") |
| Cochrane | ("Unmanned Aerial Vehicles" OR "Drone Pilots") AND ("Cognitive Skills" OR "Mental Workload" OR "Situational Awareness" OR "Neuropsychological Functions") |
| Science Direct | ("Drone operator" OR "UAV operator" OR "unmanned aerial vehicle") AND ("cognitive skills" OR "mental workload" OR "situational awareness" OR "neuropsychological performance") AND ("military") |
| Scopus | ("drone operator*" OR "UAV operator*" OR "remotely piloted aircraft" OR "RPA operator*" OR "unmanned aerial system*" OR "unmanned aircraft") AND ("cognitive workload" OR "mental workload" OR "cognitive performance" OR "cognitive fatigue" OR "situational awareness") |
| Web of Science | TS=("UAV operator*" OR "drone operator*" OR "remotely piloted aircraft" OR "RPA operator*" OR "unmanned aerial vehicle*" OR "UAS") AND TS=("cognitive workload" OR "mental workload" OR "situational awareness" OR "cognitive fatigue" OR "neurocognitive performance") |

ANEXO 3

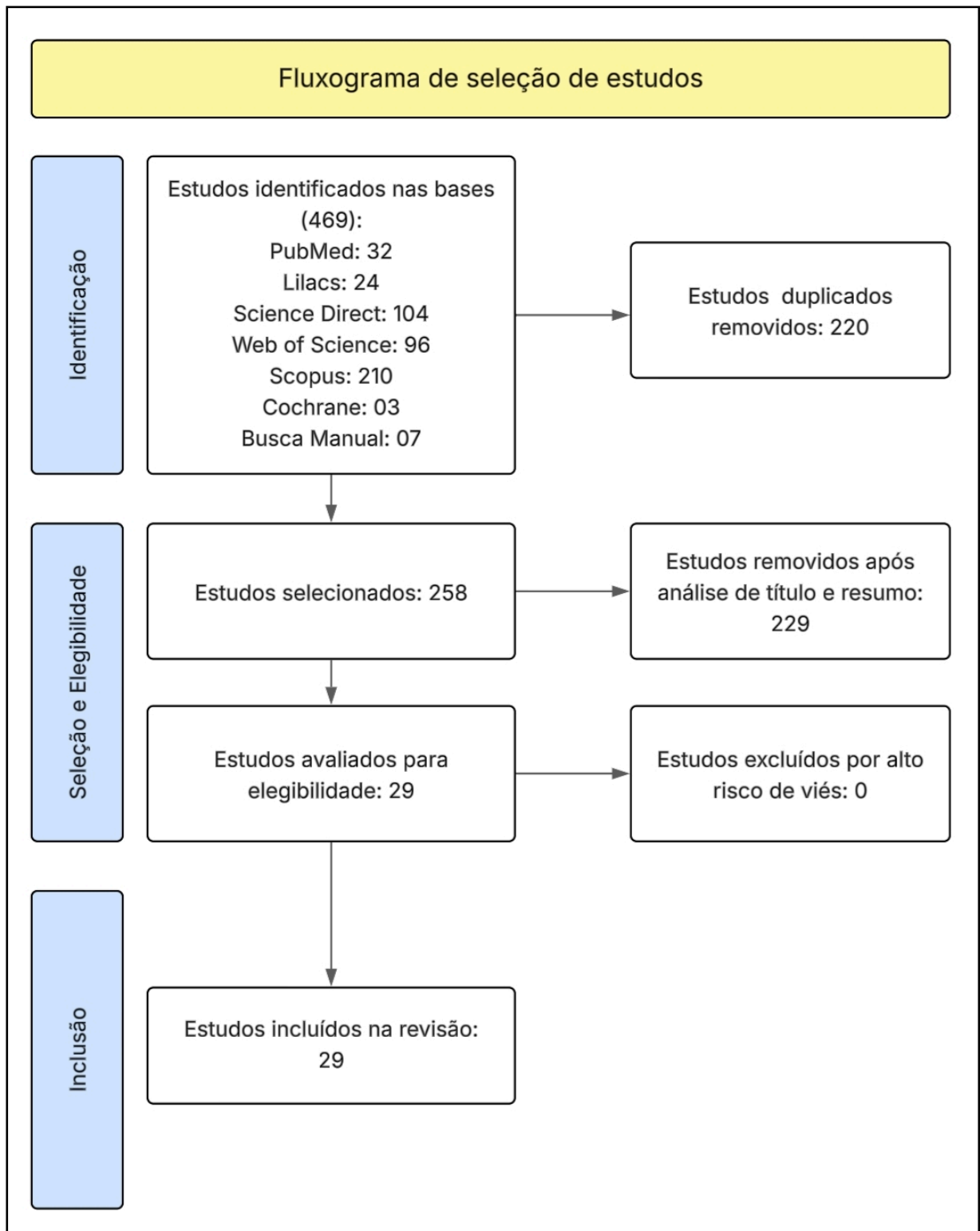


Figura 1: Fluxograma de seleção dos estudos: processo de identificação, seleção, elegibilidade e inclusão dos estudos na revisão sistemática.