

# 4º ENCONTRO DE I&D EM CIÊNCIAS MILITARES

16 NOV 2022

Academia da  
Força Aérea

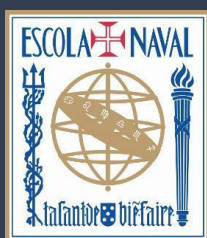


## Livro de Atas

### Organização

CIAFA, com apoio do CIDIUM, CINA V e do CINAMIL

E-mail: [ecm2022@academiafa.edu.pt](mailto:ecm2022@academiafa.edu.pt)



# Perceções de risco face ao Cibercrime na União Europeia: Análise Fatorial Multinível

**Autores: A. Gomes (1) e J. G. Dias (2)**

- (1) Academia da Força Aérea e Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)  
apgomes@academiafa.edu.pt
- (2) Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)

## Resumo:

O presente estudo aborda a temática das perceções de risco face ao cibercrime nos 27 Estados-Membros (EM) da União Europeia (UE) integrando variáveis preditoras ao nível individual e ao nível do país. Foi utilizado um modelo fatorial multinível (MFM) para modelar a *perceção geral de risco face ao cibercrime*. O modelo apresenta um bom ajuste. O *Índice Global de Cibersegurança*, apresenta um impacto significativo e negativo na *perceção geral de risco face ao cibercrime*, ao nível do país. Ao nível individual, a *perceção geral de risco face ao cibercrime* é explicado pela confiança na utilização da Internet, pela idade, pelo género e pela experiência prévia de cibercrime.

**Palavras-chave:** perceções de risco, cibercrime, modelos multinível, análise fatorial.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a utilização da internet cresceu exponencialmente, permitindo um acesso mais amplo a atividades e informações *online* e facilitando mudanças sociais e económicas (Lissitsa e Chachashvili-Bolotin, 2016; Maiti e Awasthi, 2020). Nos últimos dois anos, a importância da utilização da internet, exacerbada pela pandemia do COVID-19, aumentou e exigiu novas formas de trabalho, aprendizagem e socialização (Milanesi, 2020). À medida que o mundo se torna mais digital, surgem novas formas de crime (Roberts *et al.*, 2013).

Estatísticas precisas e representativas sobre a vitimização de cibercrime são muito importantes para os Estados-Membros da UE em termos das suas políticas internas de cibersegurança. No entanto, existem poucos estudos baseados em amostras representativas, especialmente na Europa (Brands e Wilsem, 2021; Reep-van den Bergh e Junger, 2018; Virtanen, 2017). Embora muitos autores concordem que o medo e as perceções de risco face ao cibercrime se encontrem relacionados, eles não são exatamente o mesmo construto, pois o medo encontra-se relacionado com sentimentos/emoções (dimensão emocional) e as perceções de risco estão relacionadas com pensamentos e cognições (dimensão cognitiva) (Brands e Van Doorn, 2022).

O cibercrime é uma das prioridades da UE no combate ao crime organizado no âmbito da

Plataforma Multidisciplinar Europeia Contra Ameaças Criminais (EMPACT) (European Commission, 2022; Europol, 2022). A fim de abordar melhor as estratégias nacionais de cibersegurança na Europa, é importante compreender as perceções de risco face ao cibercrime, e identificar os preditores ao nível individual e ao nível do país. Desta forma, este estudo apresenta um carácter inovador.

O presente estudo é norteado pela presente questão de investigação: *Quais os preditores que explicam as perceções de risco de cibercrime na UE ao nível individual e ao nível do país?*

Pretende-se determinar de que forma as perceções de risco face ao cibercrime diferem entre os países da UE, tendo em consideração as variáveis preditoras ao nível individual e ao nível do país. Os dados foram recolhidos do Eurobarómetro 87.4/2017 (Eurobarómetro, 2017).

Foi utilizado um modelo fatorial multinível (MFM) com uma estrutura de Múltiplos Indicadores e Múltiplas Causas (MIMIC) para modelar a *perceção geral de risco face ao cibercrime* em utilizadores de internet da UE. O modelo de medida da *perceção geral de risco face ao cibercrime* inclui dez itens (roubo de identidade, e-mails ou telefonemas fraudulentos, fraude online, material ofensivo e pornografia infantil, material que promova ódio racial ou extremismo religioso, não poder aceder a serviços online, e-mail *hackeado*, fraude bancária online, e software malicioso). Os itens são medidos numa uma

escala de quatro pontos de 1 (“nada preocupado”) a 4 (“muito preocupado”).

## 2. PERCEÇÕES DE RISCO FACE AO CIBERCRIME

O risco pode ser definido como um evento indesejável que é suscetível de causar efeitos nocivos e apresenta uma probabilidade de ocorrência (Istianingsih, 2022). As perceções de risco consistem num julgamento subjetivo ou numa crença sobre a gravidade e as características de um risco que é influenciado por uma série de fatores: fatores individuais (experiência anterior, idade, personalidade), avaliação cognitiva (divulgação social, gravidade dos incidentes, etc), fatores afetivos (emoções e sentimentos) e fatores contextuais. O risco percebido é composto por três dimensões – probabilidade percebida (a probabilidade de alguém ser prejudicado pelo perigo), suscetibilidade percebida (a vulnerabilidade de um indivíduo a um perigo) e gravidade percebida (a extensão do dano que um perigo causaria) (Brewer *et al.*, 2004; Grima *et al.*, 2021; Slovic, 2016).

As perceções de risco em relação ao cibercrime são muito escassas na literatura, no entanto, nos últimos anos, verifica-se um interesse crescente sobre os medos e preocupações que as pessoas podem experimentar em relação ao cibercrime (Doorn e Brands, 2022).

As perceções de risco estão relacionadas com pensamentos, cognições (dimensão cognitiva), mas também podem incorporar medidas afetivas (Brands e Van Wilsem, 2021; Brands e Van Doorn, 2022). No entanto, alguns estudos ainda se referem ao medo do cibercrime, mas na prática as variáveis utilizadas refletem apenas preocupações e não o medo em si. Na maioria dos casos, os estudos realizados refletem uma mistura de ambos os componentes (dimensões afetiva e cognitiva) (Akdemir, 2021; Brands e Van Wilsem, 2021; Chen e Zahedi, 2016; Elhai *et al.*, 2017; Roberts *et al.*, 2013; Virtanen, 2017; Vozmediano *et al.*, 2013). A literatura geralmente sugere que os dois devem ser estudados separadamente como construtos diferentes, embora estejam intimamente relacionados (Virtanen, 2017).

## 3. MÉTODO

### 3.1. Amostra

Os dados são provenientes do Eurobarómetro 87.4/2017 (European Commission, 2017) e constituem uma amostra de 27.812 respondentes reduzida para 21.657 utilizadores de internet).

Relativamente ao acesso à internet, 88.1% da amostra acede à internet pelo menos uma vez por dia. A idade dos inquiridos varia entre 15 a 98 anos (média = 43.23 anos, DP = 16.50). A Suécia é o país mais velho (média = 49.25; DP = 18.33) e a Romênia é o país mais jovem, onde a idade média dos utilizadores de internet é de 37.22 (DP = 13.74).

### 3.2. Modelo estatístico

Neste estudo, um modelo fatorial multinível (MFM) é aplicado às perceções da UE sobre o cibercrime, considerando simultaneamente dois níveis: o nível individual do utilizador de internet (nível 1) que considera as características dos indivíduos dentro de cada país; e o nível do país (nível 2) que destaca as semelhanças (ou diferenças) entre os países europeus definindo uma estrutura hierárquica (Varriale e Vermunt, 2012).

## 4. PRINCIPAIS RESULTADOS

O modelo de medida revelou um bom ajustamento global.

Ao nível individual, as variáveis confiança na utilização de internet, experiência prévia de cibercrime, género e idade apresentaram um efeito significativo ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

No que diz respeito às variáveis preditoras introduzidas ao nível do país, O *Índice Global de Cibersegurança*, apresenta um impacto significativo e negativo na *perceção geral de risco face ao cibercrime* ( $p\text{-value} < 0.05$ ).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos, que abrangem os 27 países da UE, fornecem uma imagem única e abrangente das perceções europeias face ao cibercrime, com implicações importantes para as políticas e medidas de cibersegurança tomadas pelos governos locais. O presente estudo, revela claramente a presença de heterogeneidade em toda a Europa no que concerne às perceções de risco face ao cibercrime, cuja análise se torna mais clara com a adição de um modelo fatorial multinível, permitindo uma estrutura de dados hierárquica.

## Agradecimentos

Agradece-se o apoio institucional da Academia da Força Aérea (AFA) e da Fundação para a Ciência e Tecnologia (UIDB/00315/2020).

## REFERÊNCIAS

- Akdemir, N. (2020). June 2020 Examining the Impact of Fear of Cybercrime on Internet Users' Behavioral Adaptations, Privacy Calculus and Security Intentions. *11(40)*, 606–649.
- Brands, J., e Van Doorn, J. (2022). The measurement, intensity and determinants of fear of cybercrime: A systematic review. *Computers in Human Behavior*, 127.
- Brands, J., e van Wilsem, J. (2021). Connected and fearful? Exploring fear of online financial crime, Internet behaviour and their relationship. *European Journal of Criminology*, *18(2)*, 213–234.
- Brewer, N. T., Weinstein, N. D., Cuite, C. L., & Herrington, J. E. (2004). Risk Perceptions and Their Relation to Risk Behavior. *Annals of Behavioral Medicine*, *27(2)*, 125–130. [https://doi.org/10.1207/s15324796abm2702\\_7](https://doi.org/10.1207/s15324796abm2702_7).
- Chen, Y., & Zahedi, F. (2016). Individuals internet security perceptions and behaviours: Polycontextual contrasts between the United States and China. *MIS Quarterly*, *40(1)*, 1–5.
- European Commission (2022a). EMPACT fighting crime together. Retrieved June 2, 2022 from [https://home-affairs.ec.europa.eu/policies/law-enforcement/cooperation/operationalcooperation/empact-fighting-crime-together\\_en](https://home-affairs.ec.europa.eu/policies/law-enforcement/cooperation/operationalcooperation/empact-fighting-crime-together_en).
- Europol (2022). Crime areas and statistics: cybercrime. Retrieved June 20, 2022 from <https://www.europol.europa.eu/crime-areas-and-statistics/crime-areas/cybercrime>.
- European Commission (2017). *Special Eurobarometer 464a: Europeans attitudes towards cyber security*. Brussels: European Commission.
- Grima, S., Hamarat, B., Özen, E., Girlando, A., & Dalli-Gonzi, R. (2021). The Relationship between Risk Perception and Risk Definition and Risk-Addressing Behaviour during the Early COVID-19 Stages. *Journal of Risk and Financial Management*, *14(6)*, 272. <https://doi.org/10.3390/jrfm14060272>.
- Istianingsih, I. (2022). Impact of Perceived of Cyber Fraud, Ease of Use and Risk Perception on the Behavior of Using E-Commerce Systems in the Pandemic Era. *Journal of Management Information and Decision Sciences*, *25(1)*, 1–11.
- Lissitsa, S., e Chachashvili-Bolotin, S. (2016). Life satisfaction in the internet age – Changes in the past decade. *Computers in Human Behavior*, *54*, 197–206.
- Maiti, D., e Awasthi, A. (2020). ICT Exposure and the Level of Wellbeing and Progress: A Cross Country Analysis. In *Social Indicators Research* (Vol. 147, Issue 1). Springer Netherlands.
- Milanesi, C. (2020). Digital Transformation and Digital Divide Post COVID-19. *Forbes*, Retrieved October 22, 2021, from <https://www.forbes.com/sites/carolinamilanesi/2020/05/11/digital-transformation-and-digital-divide-post-covid-19>.
- Reep-van den Bergh, C. M. M., e Junger, M. (2018). Victims of cybercrime in Europe: a review of victim surveys. *Crime Science*, *7(1)*.
- Roberts, L. D., Indermaur, D., e Spiranovic, C. (2013). Fear of Cyber-Identity Theft and Related Fraudulent Activity. *Psychiatry, Psychology and Law*, *20(3)*, 315–328.
- Slovic, P. (2016). Understanding perceived risk: 1978-2015. *Environment*, *58(1)*, 25–29. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1112169>
- Virtanen, S. M. (2017). Fear of Cybercrime in Europe: Examining the Effects of Victimization and Vulnerabilities. *Psychiatry, Psychology and Law*, *24(3)*, 323–338.
- Vozmediano, L., San Juan, C., Vergara, A. I., & Llenais, A. (2013). Risk perception in digital contexts: Questionnaire and pilot study. *International E-Journal of Criminal Science*, *7(2013)*, 2–18.

## Projétil de Artilharia para os exercícios de treino dos militares da unidade de Artilharia

C. Macedo (1), H. Gouveia (1), R. Simoes (2), A. Brito (3), J. Laranjeira (4) e J. Borges (1),

(1) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Miliar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203, Lisboa, Portugal.

(2) Instituto Politécnico do Cavado e do Ave (IPCA), Campus de Barcelos, Vila Frescainha, 4750-810 Barcelos, Portugal

(3) Departamento de Engenharia de Polímeros (DEP)/Instituto de Polímeros e Compósitos (IPC), Campus de Azurém, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

(4) MOLDIT Industries, Zona Industrial, Loureiro, Oliveira de Azeméis, 3720-581 Aveiro, Portugal

**Resumo:** Os exercícios assumem, em qualquer organização, um papel fundamental para o desenvolvimento das capacidades dos recursos humanos dessa organização. No contexto da aliança OTAN, destacam-se as granadas de calibre 155 mm em detrimento de outros calibres para os exercícios de treino. Do calibre mencionado, destaca-se o modelo 155 M107 HE é considerado o modelo da OTAN para as restantes granadas. Na maioria dos casos, este modelo é utilizado nos exercícios de treino das unidades de artilharia. No entanto, o emprego deste modelo nos exercícios de treino de artilharia apresenta algumas desvantagens. Neste contexto, este documento, apresenta uma solução de treino de artilharia em materiais plásticos para os exercícios de treino nacionais e internacionais dos recursos humanos de qualquer organização militar concentrada no desenvolvimento das capacidades dos recursos humano. Esta solução de treino inerte coadjuvária para o treino das funções de Bateria de boca de fogo (Btrbf), contribuindo para o treino das tarefas das funções orgânicas de uma Btrbf.

**Palavras-chave:** Artilharia; Exercícios; Inerte; Projétil; Reutilizável; Treino; 155 mm

### 1. INTRODUÇÃO

Os exercícios assumem, em qualquer organização, um papel fundamental para o desenvolvimento das capacidades dos recursos humanos dessa organização uma vez que deles poderá depender a eficácia e eficiência do meios humanos em exercícios nacionais e internacionais (Fernandes, 2019; Sousa, 2020). Os exercícios de treino são um conjunto de atividades que têm como objetivo preservar e melhorar as capacidades operacionais dos militares, individual e coletivamente (Exército, 2022). Anualmente, as unidades de uma organização militar procuram, através dos exercícios de treino dos seus recursos humanos, uma garantia para o cumprimento dos objetivos nacionais e internacionais das suas unidades (Baltazar & Fonseca, 2017). Destas unidades, destaca-se a unidade de artilharia, esta utiliza munições de grande calibre, como, por exemplo, as munições de calibre 105 mm ou 155 mm, nos seus exercícios de treino. É de salientar a adoção generalizada do calibre 155 mm em detrimento do calibre de 105 mm neste contexto (Martins, 2019; Fernandes, 2019). Do calibre mencionado, destaca-se a granada de 155 mm M107 do tipo HE (“high explosive” ou altamente explosiva). Este modelo é constituído por um corpo oco em aço preenchido com carga altamente explosiva, como, o TNT ou o componente B (EME, 2011; U.S. Department of Army, 1994). Na maioria dos casos, este modelo é

utilizado nos exercícios de treino das unidades de artilharia. No entanto, o emprego deste modelo nos exercícios de treino de artilharia apresenta algumas desvantagens, tais como, o impacto ecológico dos exercícios de treino devido à libertação e infiltração da carga altamente explosiva ou do componente B no terreno, assim como de outros materiais energéticos, que podem somar centenas de quilos de componentes químicos altamente explosivos por exercício de treino; devido à degradação dos fragmentos metálicos da granada e, conseqüente, infiltração e contaminação dos solos com materiais metálicos. Por último, o custo dos exercícios de treino para as Forças Armadas devido, em particular, ao custo unitário das munições convencionais representa também uma desvantagem. Tendo em conta o papel dos exercícios de treino de artilharia para o desenvolvimento das capacidades dos recursos humanos, ao longo dos últimos tempos, foram desenvolvidas várias tecnologias de treino de artilharia. Neste contexto, este documento, apresenta uma solução de treino de artilharia em materiais plásticos para os exercícios de treino nacionais e internacionais dos recursos humanos de qualquer organização militar concentrada no desenvolvimento das capacidades dos recursos humano com foco na sustentabilidade ambiental e económica. O documento descreve a solução de treino de artilharia em materiais plásticos. Assim como, este documento procura, através da apresentação da constituição de um Bateria de bocas de fogo (Btrbf) nacionais e da

descrição das funções orgânicas destas Btrbf, identificar as secções de um Btrbf que, direta ou indiretamente, beneficiariam desta solução de treino de artilharia.

## 2. PROJÉTEL DE TREINO DE ARTILHARIA EM MATERIAIS PLÁSTICOS

A solução do projétil de treino em materiais plásticos para os militares da unidade de Artilharia será constituído por uma estrutura em plástico combinada com um núcleo metálico. O núcleo metálico será uma peça em aço produzida por fabrico subtrativo. Este introduz as características físicas da munição de treino artilharia de 155 mm. O núcleo será concebido para assegurar a massa e a distribuição da massa do projétil. O corpo da munição de artilharia de 155 mm representa 91,2 % da massa do projétil e, por isso contribuirá para a estabilidade aerobalística da solução da artilharia. A estrutura em plástico será produzida em materiais plásticos comuns selecionados e concebidos de acordo com os requisitos específicos de cada peça. Estas peças serão produzidas por moldação por injeção ou por fabrico subtrativo. A estrutura de plástico introduzirá as características aerodinâmicas da solução. Esta contribuirá para os valores das forças e momentos que atuam sobre o projétil e, portanto, conferirá estabilidade à trajetória desta solução.

Em geral, prevê-se que o custo unitário da munição de artilharia em materiais plásticos seja menor do que o custo unitário da munição de artilharia convencional do mesmo calibre. Tal afirmação baseia-se nos custos das matérias-primas e no custo de fabrico das peças. Além disso, espera-se que o impacto ecológico da solução de treino de artilharia seja inferior do que o das munições convencionais, uma vez que os núcleos metálicos serão recolhidos do terreno do exercício de treino e, depois do teste de controlo de qualidade, serão reintroduzidas nas novas granadas ou serão encaminhadas para a reciclagem. Uma vez que o núcleo metálico representa 91,2% da massa do projétil, a abordagem indica que a solução minimiza os resíduos metálicos durante um exercício de treino de artilharia (principalmente o material metálico abandonado no solo durante o exercício de artilharia). Por fim, os fragmentos de plástico serão recolhidos e, em seguida, encaminhados para a reciclagem.

A solução apresentada não transporta carga explosiva e, por isso, a sua natureza inerte reduzirá o impacto ecológico da prática da artilharia, além disso reduzirá o risco de acidentes durante os meses quentes, permitindo a execução de exercícios de treino ao longo do ano. Por fim, esta solução de artilharia apresentará requisitos reduzidos para o transporte e armazenamento.

## 3. BATERIA DE BOCA DE FOGO NACIONAL

### 3.1. Constituição de uma Bateria de boca de fogo (Btrbf) segundo o Sistema de Forças Nacional

A Btrbf é a subunidade do Grupo de Artilharia de Campanha (GAC) responsável pela execução dos fogos. De forma geral, estas subunidades são constituídas pelos órgãos de comando, execução e de apoio. De acordo com o Sistema de Forças Nacional, a Btrbf é composta por um Comando e uma Secção de Comando, três Secções de Observadores Avançados (OAv), uma Secção de Transmissões, uma Secção de Munições e uma Bateria de Tiro composta por um Comando e por seis Secções de bocas de fogo (Secbf), como representado na Figura 1. No contexto desta solução, as subunidades que lidam, diretamente, com as munições de AC são as secções de Observadores Avançados, a Secção de Munições e a Secção de Bateria de Tiro. A secção de OAv é constituída por um oficial subalterno, um sargento e um soldado. Estes são responsáveis por localizar os objetivos por preparar, realizar e ajustar o pedido de tiro, a Secção de Munições é responsável por reabastecer as Secbf. E, por último, a Secção de Bateria de Tiro é constituída pelo Comandante de Bateria de Tiro, pelo Sargento de Tiro, pelo Posto Central de Tiro (PCT) e pelas Secções de bocas de fogo. A função de Comandante de Bateria de Tiro, desempenhada por um oficial subalterno, é responsável pelas tarefas da Bateria de Tiro, o PCT é responsável por receber os Pedidos de Tiro do OAv, transformar esta mensagem em Elementos de Tiro e por os enviar às Secbf. Por fim, destacam-se as Secbf, estas são responsáveis por preparar as munições em concordância com os Elementos de Tiro e executar o tiro. Segundo os Quadros Orgânicos em vigor no Exército português as Secbf são constituídas por um Comandante de Secção, um Sargento, um Apontador, um Cabo, por um conjunto de operadores de bocas de fogo (bf) e por um ou dois condutores de viatura, consoante o obus que equipa a bateria (EME, 1988).

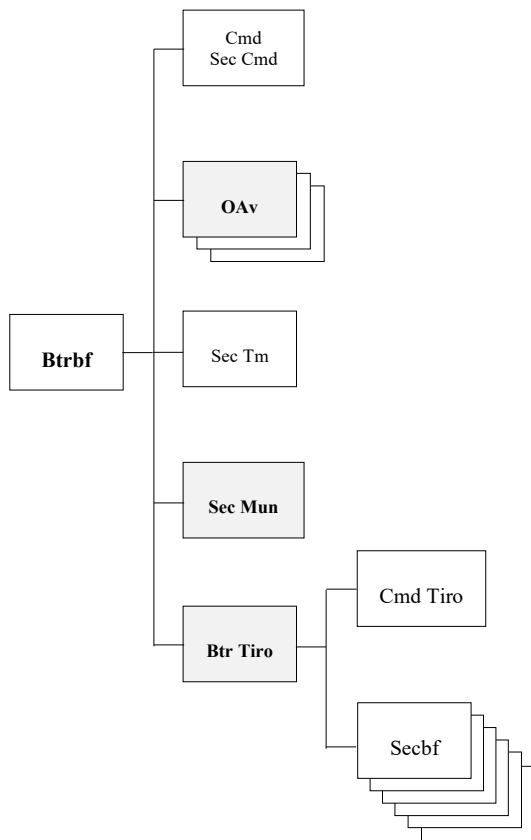


Figura 1. Orgânica de um Btrbf segundo o QO em vigor no Exército português.

### 3.1.1. Funções orgânicas de um Btrbf

Das Secções mencionadas anteriormente, destaca-se a Secção de Observadores Avançados. A solução de treino de artilharia em plásticos contribuirá indiretamente para o treino das tarefas das Secções do OAv (como, ajudará a localizar e descrever o objetivo, assim como ajudará a definir o Método de Ataque e o Métodos de Tiro e Controlo). Adicionalmente, esta solução de treino não contém carga explosiva e, por isso, os OAv poderão treinar sem restrições ao longo do ano. Em seguida, destaca-se a Secção de Munições, esta secção é responsável por transportar as munições de artilharia entre o local de reabastecimento e a Btr e por distribuir as munições pelas Secbf. A solução de treino em plástico ajudará nas tarefas de carregar e descarregar as munições da viatura, de distribuir as munições pelas Secbf. Além disso, a solução inerte contribuirá para a aprendizagem do procedimento de transporte, do procedimento de identificação e de inspeção de munições, sem perigo. Assim, esta solução contribuirá diretamente para as funções dos militares em formação. Na Bateria de Tiro, a solução permitirá treinar indiretamente as diferentes funções. De forma indireta, a solução ajudará o Comandante de Tiro a treinar as suas funções (como, a controlar e a distribuir as munições pelas Secbf e a comunicar a informação sobre as munições ao PCT). Relativamente às Secbf, a solução permitirá o treino

integrado de todas as secções. Esta solução, de forma indireta, contribuirá para as tarefas do comandante de secção e de forma direta contribuirá para o treino das tarefas dos serventes. Por fim, a solução traria benefícios para a formação e treino dos militares de um Btrbf, em particular, às funções de OAv, Secção de Munições, Comandante de Bateria de Tiro, ao PCT, Comandante de Secções e Serventes, como destacado na Figura 1.

### CONCLUSÃO

Os exercícios de treino assumem, em qualquer organização, um papel fundamental para o desenvolvimento das capacidades dos recursos humanos. Neste contexto, este documento, apresenta uma solução de treino de artilharia em materiais plásticos para os exercícios de treino nacionais e internacionais dos recursos humanos de qualquer organização militar concentrada no desenvolvimento das capacidades dos recursos humanos. A solução de treino de artilharia será composta por uma estrutura em plástico combinada com um núcleo metálico. A estrutura de plástico introduzirá as características aerodinâmicas da solução e o núcleo metálico irá garantir a massa e a distribuição da massa do projétil de treino. Em geral, prevê-se que seu o custo unitário seja inferior ao custo unitário das munições de artilharia convencionais do mesmo calibre. Além disso, espera-se que o impacto ecológico da solução de treino de artilharia seja inferior ao das munições convencionais, visto que, em primeiro lugar, o núcleo metálico será recolhido do terreno do exercício de treino e será reintroduzido nas novas granadas de treino e, em segundo lugar, os fragmentos em plástico serão recolhidos do terreno de exercício de treino e serão encaminhados para a reciclagem. Esta solução não transporta carga altamente explosiva e, por isso, a sua natureza inerte também reduzirá o impacto ecológico dos exercícios de treino, assim como o risco de acidentes nos meses quentes, permitindo a execução de exercícios ao longo do ano. No contexto dos exercícios de treino de artilharia, esta solução de artilharia em materiais plásticos coadjuvária para o treino das funções de Btrbf, contribuindo para o treino de todas as tarefas das funções orgânicas de uma Btrbf. A solução traria benefícios para a formação e treino dos militares de um Btrbf, em particular, às funções de OAv, Secção de Munições, Comandante de Bateria de Tiro, ao PCT, Comandante de Secções e Serventes.

### REFERÊNCIAS

- Fernandes, L. (2019). Focos de desenvolvimento a considerar na artilharia de campanha. *Revista de Artilharia n.º 1127-1129 (5)*, pp. 69–74.
- Sousa, S. (2020). Perspetiva de futuro da artilharia portuguesa. *Revista de Artilharia n.º 1142-1144 (3)*, pp. 43 – 54.
- Exército. (2022). Treino operacional e Exercícios. *Exército*. (11 de novembro de 2022)

(Disponível em; <https://www.exercito.pt/pt/o-que-fazemos>)

- Baltazar, M., & Fonseca, D. (2017). As Forças Armadas, a estratégia da presença Internacional e as informações militares. *Revista Militar n.º 2583*, pp. 363 – 382.
- Fernandes, L. (2019). Desenvolvimento a considerar na artilharia de Campanha. *Revista de Artilharia n.º 1127- 1129*, pp. 69-74
- Martins, J. (2019) A Artilharia de Campanha no Contexto Atual: Perspetivas em termos de Reequipamento. *Revista de Artilharia n.º 1127- 1129*, pp. 11- 22
- EME, (2011). PTE 13-1395 Munições de Artilharia de Campanha. Lisboa: Exército português.
- EME, (1988). MC 20-15 Bateria de Bocas de Fogo de Artilharia de Campanha. Lisboa: Exército português.
- U.S. Department of Army (1994) Artillery Ammunition, Guns, Howitzers, Mortars, Recoilless Rifles, Grenade Launchers, And Artillery Fuzes. *Army Ammunition Data Sheets*, pp. 77-79

# A Latitude por duas Alturas do Sol – Os métodos de Douwes e Riddle

A. Queirós (1), A. Costa Canas (1), T. Sousa (1)

(1) Escola Naval e CINAV, [teresa.maria.sousa@marinha.pt](mailto:teresa.maria.sousa@marinha.pt)

**Resumo:** Em 1740, Cornelis Douwes apresentou um método algorítmico para o cálculo da latitude fora da passagem meridiana. Este método foi divulgado em inglês por Richard Harrison em 1759. Para a aplicação do método de Douwes é necessário conhecer duas alturas do Sol fora da passagem meridiana, a hora das observações, a declinação do Sol e a latitude estimada. Em 1821, James Ivory apresenta um novo método que apresenta a vantagem de não depender da latitude estimada. Este método irá ser melhorado por Edward Riddle em 1822. A proposta de Riddle foi amplamente divulgada por toda a Europa durante o século XIX. Neste trabalho iremos aplicar os métodos algorítmicos de Douwes e Riddle para o cálculo da latitude usando observações realizadas a bordo do navio NRP *Sagres* durante os anos de 2021 e 2022. Os resultados obtidos serão comparados com a posição GPS de modo a aferir a sua fiabilidade.

**Palavras-chave:** Latitude, meridiana, Douwes, Ivory, Riddle

## 1. INTRODUÇÃO

No final do século XV para determinar a latitude os navegadores utilizavam um método baseado na observação do Sol na passagem meridiana, ou seja, na sua altura máxima. Esta altura depende do dia do ano, por isso, era também necessário saber a declinação do Sol em cada dia. O processo para obtenção da latitude através da altura meridiana do Sol e da sua declinação era um processo matematicamente simples. Este método implicava a observação do Sol naquele preciso instante, que devido às condições meteorológicas poderia ser difícil ou mesmo impossível. Não sendo essa observação possível, seria necessário esperar pelo dia seguinte para se poder obter a latitude. Na prática, podiam seguir-se vários dias sem que a passagem meridiana do Sol fosse visível, e consequentemente, seguir-se-iam vários dias sem que os navegadores conseguissem obter a sua latitude. Para resolver este problema vários autores desenvolveram métodos para determinar a latitude utilizando duas altitudes do Sol em duas horas diferentes do dia. Com esses novos métodos, os pilotos determinariam a latitude fora da passagem no meridiano. Neste trabalho estudamos os métodos propostos por Cornelius Dowues (1740) e Edward Riddle (1822).

### 1.1. Proposta de Douwes

O método proposto por Douwes, em 1740, para o cálculo da latitude por duas alturas do Sol é considerado o primeiro método algorítmico e terá sido o precursor de todos os outros métodos que se seguiram. Douwes apresenta um método iterativo, pelo que, para se efetuarem os cálculos, é necessário

conhecer um valor estimado da latitude e, no final, o valor obtido deve ser comparado com o valor estimado sendo avaliada a diferença. Se a diferença for grande, repete-se o processo, usando para a latitude estimada o valor obtido na iteração anterior. Este método foi divulgado em inglês através da tradução de Richard Harrison (1759) e pode ser encontrado em textos de J. W. Norie (1835) e Nathaniel Bowditch (1837).

A aplicação do método proposto por Douwes requere o conhecimento de duas alturas do Sol fora da passagem meridiana, as horas das observações, a declinação do Sol no instante em que se observou a maior altura, e a latitude estimada. As alturas do Sol eram obtidas através de instrumentos próprios para o efeito, como por exemplo, o sextante, e o valor da declinação do Sol seria retirado do Almanaque Náutico. O processo de cálculo consiste em 7 passos distintos, sendo que em cada um deles é necessário a obtenção de valores numéricos através de consulta de tabelas logarítmicas previamente elaboradas pelo autor para o efeito, ou realizar pequenas operações de adição e subtração. No entanto, para a obtenção de resultados fiáveis era necessário ter em conta que as observações das alturas do Sol deveriam obedecer a determinadas restrições.

*As the above method is only an approximation to the truth, it must be used under the following restrictions. (Norie 1835, p. 192)*

- a) As observações devem ser realizadas entre as 9 horas da manhã e as 3h da tarde;
- b) Se ambas as observações forem de manhã ou ambas de tarde, o tempo decorrido entre

observações deve ser maior que o tempo decorrido entre o meio-dia e a hora da maior altura;

- c) Se as observações forem uma de manhã e outra de tarde, o tempo decorrido entre observações não deverá exceder a 4h30.
- d) Em todos os casos, quanto mais perto estiver a maior altura do meio-dia tanto melhor será.

Além de se ter em conta as restrições apresentadas, a aplicação do método também exige que o valor da menor altura do Sol seja corrigido para o instante em que foi observada a maior altura.

### 1.2. Proposta de Riddle

O método proposto por Douwes para o cálculo da latitude dependia do conhecimento da latitude estimada. De modo a evitar esse inconveniente, em 1821 James Ivory propõe uma solução para o cálculo da latitude que é independente do conhecimento da latitude estimada. O processo proposto por Ivory foi melhorado e simplificado por Edward Riddle em 1822. A proposta de Riddle serviu de base a inúmeros autores do século XIX que procuravam métodos expeditos e fiáveis para o cálculo da latitude por duas alturas do Sol. Estes métodos estão descritos em textos de J. W Norie (1835), Nathaniel Bowditch (1837) e João Peregrino Leitão (1865), entre outros.

Para a aplicação do método de Riddle é necessário conhecer duas alturas do Sol fora da passagem meridiana, as horas em que as alturas foram observadas e a declinação do Sol no instante em que a maior altura foi observada. Com o conhecimento destes dados a latitude era calculada usando um algoritmo que contém 8 passos distintos. Em cada um desses passos seria necessário consultar valores em tabelas logarítmicas previamente elaboradas para o efeito ou realizar pequenas adições e subtrações.

Neste método as observações devem obedecer às restrições apresentadas para a proposta de Douwes. Além de ter em conta as restrições apresentadas, a aplicação do método também exige que o valor da menor altura do Sol seja corrigido para o instante em que foi observada a maior altura.

### 1.3. Resultados Algorítmicos

Neste trabalho iremos usar observações reais de alturas do Sol para cálculo da latitude usando os métodos propostos por Douwes e Riddle. Os valores obtidos serão comparados com os valores de latitude retirados do GPS. Em 2021, durante uma viagem no NRP *Sagres* entre Lisboa e os Açores foram recolhidas 41 alturas do Sol entre os dias 5 e 23 de agosto. Ao mesmo tempo, foram também registadas as posições GPS para cada observação e a declinação do Sol. Em 2022, entre os dias 27 de julho e 5 de agosto, também numa viagem no NRP *Sagres* entre

Lisboa e o Brasil foram observadas 34 alturas do Sol, registando-se também as respetivas posições GPS e a declinação do Sol. De lembrar que, para o cálculo da latitude por qualquer um dos métodos, é necessário utilizar um par de alturas. Deste modo, para cada dia de observações foram construídos todos os pares possíveis usando todas as observações realizadas nesse dia, perfazendo um total de 129 pares de observações, 61 pares em 2021 e 68 pares em 2022. Para cada um destes pares foi corrigido o valor da menor altura para o instante em que foi observada a maior altura. De seguida os métodos propostos para o cálculo da latitude foram implementados numa folha de cálculo Excel. Para cada par foi determinada a latitude usando os dois métodos. Os valores de latitude determinada pelos métodos propostos serão posteriormente comparados com os valores reais da latitude GPS e será realizada uma análise cuidada dos resultados de modo a aferir a fiabilidade dos métodos propostos. Com este estudo também se pretende analisar o comportamento dos dois algoritmos em contextos de navegação em rumos diferentes. Em 2021, o navio navegou em rumos dos quadrantes Este ou Oeste, onde a latitude varia lentamente com o tempo. Em 2022, o navio navegou sempre em rumos Sul em que a variação de latitude com o tempo é mais significativa.

Resultados preliminares mostram que, ambos os algoritmos oferecem, de forma geral, bons resultados, já que para a maioria dos pares considerados o valor da latitude calculada apresenta um erro inferior a 5 minutos de grau relativamente ao valor GPS.

## REFERÊNCIAS

BOWDITCH, Nathaniel, *The New American Practical Navigator. Being an Epitome of Navigation*. New York: E. & G. W. Blunt, 1837.

DOUWES, Cornelis, *Zeemans-Tafelen en Voorbeelden*, Amsterdam, Joannes van Keulen en Zoonen, 1760.

HARRISON, Richard, *A New Set of Logarithmic Solar Tables*, 1759.

IVORY, James, *On the problem in Nautical Astronomy for finding the latitude by means of two observations of the Sun's altitude and the time elapsed between them*, em *The Philosophical Magazine and Journal*, Ed. por Alexander Tilloch, Vol. LVIII, Londres, Richard e Arthur Taylor, 1821, pp. 81-90.

LEITÃO, João Peregrino, *Guia Náutica ou Tratado Prático de Navegação*, Lisboa, Sociedade Typographica Franco Portuguesa, 1865.

NORIE, John William, *A New and Complete Epitome of Practical Navigation*, 11ª ed., London, Lords of Commissioners of the Admiralty, 1835.

RIDDLE, Edward, *Suggestions for simplifying Mr. Ivory's solution of double altitude problem*, em *The Philosophical Magazine and Journal*, Ed. por Alexander Tilloch e Richard Taylor, Vol. LX, Londres, Richard e Arthur Taylor, 1822, pp. 167-170.

# Gestão de Resíduos em Submarinos – um Caso de Estudo

S. Lampreia (1), F. Teodoro (1) e T. Mendes (2)

- (1) CINA V- Escola naval/ Naval Research Centre - Portuguese Naval Academy, Almada, Portugal.  
Suzana.paula.lampreia@marinha.pt
- (2) NRP Figueira da Foz, Marinha, Portugal

**Resumo:** A gestão de resíduos no mar é uma preocupação de quem dele faz uso. Considerando a preservação do ambiente e do ser humano, é urgente eliminar qualquer depósito de resíduos nos oceanos. A gestão de resíduos em navios é um desafio complexo, principalmente em navegações de longo curso. Do fato dos navios serem tripulados, resultam resíduos derivados do consumo humano, e do funcionamento dos equipamentos. Quando nos referimos aos Submarinos, a gestão de resíduos é muito mais criteriosa, pelas suas características e pelos tipos de missão. Os navios da Marinha cumprem com vários normativos ambientais, por exemplo as Políticas Ambientais da MARPOL e da Marinha Portuguesa. Este artigo expõe a importância da gestão de resíduos em submarinos, sendo apresentada a organização dos submarinos na gestão de resíduos, e analisadas várias entrevistas à guarnição. É ainda verificada a adequação da gestão de resíduos implementada e sendo propostas medidas de melhoria.

**Palavras-chave:** gestão de resíduos, proteção do ambiente, submarinos.

## 1. INTRODUÇÃO

A proteção dos mares, dos oceanos e zonas costeiras, é fundamental para a manutenção das diversas formas de vida nele existentes e também do ser humano, pois fornecem quantidades consideráveis de alimento e o próprio oxigénio que respiramos, mantendo o equilíbrio necessário do planeta (Mendes, 2021).

Preservar o meio marinho, proteger a sua biodiversidade, contribui para um futuro sustentável (Agência Portuguesa do Ambiente, 2012).

“O Estado Português, por intermédio da Marinha Portuguesa e pela Autoridade Marítima Nacional realiza vistorias e inspeções aos navios que navegam nas águas portuguesas bem como os que se encontram nos portos nacionais, para fazer cumprir a legislação nacional e os acordos e convenções internacionais na área ambiental.” (Mendes, 2021).

Este trabalho está no âmbito de uma tese de mestrado da Escola Naval, cujo objetivo foi analisar e avaliar a gestão de resíduos nos submarinos da Marinha Portuguesa, verificando as formas e os métodos como é feita toda a gestão dos resíduos produzidos a bordo de um submarino. A análise e avaliação foi efetuada através do método de observação direta, e confirmação através do estudo de caso efetuado com o recurso às entrevistas.

## 2. NORMATIVO APLICÁVEL

No âmbito da Defesa Nacional (DN), ao longo dos anos foram criados diversos Despachos do Ministério da Defesa Nacional (MDN) de forma a integrar as atividades militares na área da proteção do ambiente.

O MDN definiu também três eixos estratégicos (EE), que vêm suportar os princípios e normativos ambientais, onde cada um representa áreas diferentes de atuação:

- EE1 - Alterações Climáticas e Gestão de Recursos;
- EE2 - Gestão Ambiental;
- EE3 - Educação, Sensibilização e Cooperação.

### 2.1 OTAN e NU

A Declaração de Estocolmo, de 1972, apoiada pela Assembleia Geral das Nações Unidas, declarou que qualquer Estado tem a responsabilidade de assegurar qualquer atividade dentro da sua jurisdição ou controlo (Legal Gazette, 2019).

A Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN/NATO) possui atividades com impacto ambiental. Neste sentido, em 1969, criou o Committee on the Challenges of Modern Society (CCMS) por forma a combater certos desafios relacionados com o combate à poluição e a prática ambiental da atualidade face as operações militares no mar. (NATO, 2020<sup>a</sup>).

### 2.2 MARPOL 73/78

A Convenção Internacional MARPOL 73/78 está relacionada com a prevenção da poluição do meio marinho decorrente de causas operacionais ou acidentais, cujo objetivo é prevenir e evitar todas as formas de poluição provocadas por navios. (IMO, 2019<sup>a</sup>)

Portugal aderiu à Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios, de 1973, e ao

Protocolo de 1978, situação que se oficializou através do Decreto n.º 1/2008, de 9 de janeiro, com principal objetivo de ser “necessário prevenir e controlar a poluição atmosférica causada por navios”.

O Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho veio definir as fases da gestão de resíduos que se iniciam na recolha com consequente triagem e armazenagem, o transporte, e depois o tratamento com a valorização e eliminação, Fig. 1.

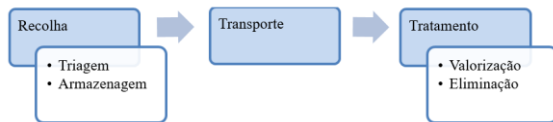


Figura 1: Fases da gestão de resíduos, adaptado do Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho.

### 3. GESTÃO DE RESÍDUOS EM SUBMARINOS

O Committee on Shipboard Pollution Control (1996) considerou que devido ao espaço limitado em submarinos, apenas devem entrar a bordo os materiais essenciais.

Quando os submarinos se encontram em áreas proibidas de descarga, a gestão a bordo de resíduos sólidos tem como bases a armazenagem, sendo que, quanto aos resíduos alimentares e derivados de papel são moídos e colocados nos tanques de retenção sanitária (Hutto *et al.* 2001) e descarregados quando autorizado.

A eliminação de resíduos produzidos a bordo, em zonas mais profundas do mar não geram de imediato preocupações ambientais, se forem corretamente separados (Technology, 2019).

#### 3.1 Os Submarinos portugueses

De acordo com o Despacho n.º 41/99, de 29 de junho de 1999, toda a gestão de resíduos efetuada em navios da Marinha Portuguesa é da responsabilidade do imediato do navio, como refere o Regulamento Interno das Forças e Unidades Navais (RIFUN).

“A colocação de lixo biodegradável no mar processa-se mediante instruções do imediato, nas condições fixadas nas convenções internacionais sobre proteção ambiental.” (RIFUN, art. n.º 3.139, 2., 1999).

Nos submarinos da classe Tridente efetua-se a classificação de resíduos da seguinte forma: oleosos, águas sujas e resíduos sólidos. Nos resíduos sólidos existe a distinção entre resíduos orgânicos e inorgânicos. Os resíduos especiais e hospitalares não são frequentes a bordo, por isso o impacto é baixo.

## 4. RESULTADOS E ANÁLISE

Para entender a organização para a gestão de resíduos a bordo de um submarino foram realizadas entrevistas

ao pessoal de bordo (por razões de limite dimensão do artigo não se incluíram os guiões de entrevista). No início do estudo foi identificado o total de militares que compõem a guarnição de cada submarino, que são 33 (Marinha, 2021b). Aos 66 militares subtraiu-se o número de elementos entrevistados, visto que não foram alvo de inquérito. Por fim, o valor da população finita resultou em 58 elementos. Para o cálculo da dimensão de uma amostra aleatória simples ( $n$ ), aplicou-se uma equação, em que o valor varia entre as variáveis da população finita, uma proporção da população ( $p$ ), um nível de erro atribuído e uma normal estandardizada ( $Z_{\alpha/2}$ ), como consta na Equação 1 (Sarmento, 2013):

$$n = \frac{p \times (1 - p)}{\frac{\varepsilon^2}{Z_{\alpha/2}^2} + \frac{p \times (1 - p)}{N}} \quad (1)$$

O valor da proporção da população varia no intervalo fechado  $[0, 1]$  e quando se desconhece o valor da proporção da população, opta-se pela hipótese mais pessimista, isto é,  $p=0,5$ . Para calcular a amostra, atribui-se um valor ao nível de confiança, com base numa tabela de validade de estudo.

“Geralmente os estudos para determinar o número de indivíduos da amostra fazem-se para um nível de confiança de  $\lambda=95,46\%$  e um erro de  $\varepsilon=5\%$ ” (Sarmento, 2013). Atendendo ao nível de confiança escolhido, a normal estandardizada apresenta o valor  $Z_{\alpha/2} = \pm 1,96$ . (Sarmento, 2013).

Foi aplicado um pré-teste aos primeiros cinco inquiridos pertencentes à amostra, revelando uma boa compreensão do inquérito, sem necessidade de efetuar qualquer alteração. A duração de preenchimento do inquérito variou entre os seis e os nove minutos.

Para avaliar um inquérito quanto à sua fiabilidade, recorreu-se ao método de cálculo do alfa de Cronbach. Com base no seu resultado, atribuiu-se uma classificação de consistência quanto à fiabilidade do inquérito (Sarmento, 2009). O valor do alfa de Cronbach obtido foi de 0,741, como ilustra a Figura 13, demonstra que a sua consistência interna e fiabilidade do questionário são boas (Sarmento, 2009).

Tabela III: Teste de Fiabilidade ao alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach baseado em resultados estandardizados	Número de resultados
0,741	0,798	26

#### 4.1 Resultado das entrevistas

Da análise de conteúdo das entrevistas realizadas, é de salientar que a unanimidade dos entrevistados referiu que:

- Não existe um manual de procedimentos de gestão de resíduos para os submarinos;
- A redução de embalagens de cartão, plásticos e afins nas fainas de embarque é uma boa prática aplicada;
- A separação de resíduos a bordo é uma boa prática associada às rotinas diárias, recorrendo a contentores de separação;
- Os resíduos orgânicos são eliminados para o mar;
- Existe uma separação a bordo de resíduos inorgânicos;
- Não têm conhecimento de legislação nacional sobre gestão de resíduos que tenha aplicabilidade nos submarinos da Marinha Portuguesa;
- Não têm conhecimento da legislação internacional MARPOL.

Verificou-se, ainda, que 7 em 8 (87,5%) dos entrevistados referem que:

- Desconhecem a existência de um plano de gestão de resíduos homologado pela Marinha Portuguesa;
- Não têm conhecimento de legislação internacional sobre a temática;
- Não existe um tipo de formação específica em gestão de resíduos proporcionada pela Marinha Portuguesa;
- Nos briefings de missão o imediato realça a temática de gestão de resíduos a bordo do submarino;
- É necessário obter um triturador a bordo dos submarinos da classe Tridente;
- Não consideram o recurso a veículos submarinos não tripulados uma alternativa a uma melhor gestão de resíduos;
- O volume dos resíduos poderia ser reduzido através da compactação e trituração.

#### 4.2 Processo recolha resíduos num submarino português

A forma como se desenvolve o processo de recolha e tratamento de resíduos produzidos a bordo de um submarino da classe Tridente depende da sua natureza.

Existem os resíduos oleosos, que são recolhidos nos porões do submarino através da canalização do separador de águas oleosas.

As águas sujas recolhem-se através da utilização do saneamento de bordo e são armazenadas num sistema específico, este tipo de resíduo é descarregado para o mar, independentemente da cota de operação.

Quanto aos resíduos sólidos orgânicos, são recolhidos e armazenados no chamado TDU, isto é, o ejetor de lixo de bordo que, ao atingir o seu limite de

capacidade de armazenamento, é descarregado para o mar.

Relativamente aos resíduos sólidos inorgânicos, estes são recolhidos e armazenados em sacos próprios para o efeito de separação de lixo. São retirados de bordo apenas quando o navio atraca.

Os resíduos hospitalares são recolhidos pelo enfermeiro de bordo e colocados em recipientes hospitalares próprios.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do estudo realizado verificou-se que existem normativos legais, a nível nacional e internacional, relacionados com os resíduos e a sua temática.

Não existe uma formação sobre normas de gestão de resíduos a bordo dos submarinos.

A gestão de resíduos a bordo dos submarinos está organizada e assenta numa perspetiva de boas práticas, bom senso e segurança das operações.

Relativamente aos resíduos cuja descarga é permitida no mar, cumprem com o que está definido pela convenção MARPOL.

Como forma da melhoria da gestão de resíduos a bordo de submarinos, recomenda-se a obtenção de equipamentos de trituração e compactador para reduzir o volume de lixo armazenado.

Recomenda-se ainda ações de formação técnica e específica quanto ao conhecimento da legislação existente, na vertente nacional, e na vertente internacional.

### Agradecimentos

Este Trabalho foi apoio pelo Centro de Investigação Naval da Escola Naval.

### REFERÊNCIAS

- Agência Portuguesa do Ambiente (2012). O Futuro que queremos. Rio+20 Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, Rio de Janeiro, 20-22 junho 2012, editado pela Agência Portuguesa do Ambiente. [Em linha] Disponível em: [https://apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/2012\\_Declaracao\\_Rio.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/DesenvolvimentoSustentavel/2012_Declaracao_Rio.pdf), [Consult. 21 Mar.2021].
- Committee on Shipboard Pollution Control (1996), "Waste Handling on Submarines", Shipboard Pollution Control: U.S. Navy Compliance with MARPOL Annex V, Washington, D.C., National Academy Press. [Em linha] Disponível em: <https://www.nap.edu/read/9190/chapter/10>, [Consult. 21 Mar.2021].
- Decreto-lei N.º 73/2011, de 17 de junho (2011). altera o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Diretiva n.º 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro, relativa aos resíduos, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Diário da República.

- [Em linha] Disponível em: <https://dre.pt/pesquisa/-/search/670034/details/maximized>, [Consult. 21 Mar.2021].
- Hutto, L. (2001). A Comprehensive Guide to Shipboard Waste Management Options. IEEE Xplore. [Em linha] Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/968741>, [Consult. 21 Mar.2021].
- IMO (2019a). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL, 1973/78). International Maritime Organization. [Em linha] Disponível em: [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-forthe-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-forthe-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx), [Consult. 12 Fev.2021].
- Legal Gazette (2019). Environmental Protection: NATO Policies and National Views. Issue 40. [Em linha] Disponível em: [https://www.act.nato.int/application/files/5515/7428/7917/legal\\_gazette\\_40.pdf](https://www.act.nato.int/application/files/5515/7428/7917/legal_gazette_40.pdf), [Consult. 21 Mar.2021].
- Marinha (1999i). Gestão de Resíduos. Regulamento Interno das Forças e Unidades Navais - RIFUN. art. n.º 3.139, 2, Despacho n.º 41/99, de 29 de junho, do Ministério da Defesa Nacional. [Em linha] Disponível em: <https://intranet.marinha.pt/informacao/generica/publicacoes/Lists/Publicacoes/RIFUN%20-%20REGULAMENTO%20INTERNO%20DAS%20FOR%20C3%87AS%20E%20UNIDADES%20NAVAIS.pdf>, [Consult. 17 Jan..2021].
- Marinha (2021ii). Os meios, Submarinos. [Em linha] Disponível em: [https://www.marinha.pt/pt/os\\_meios/Paginas/default.aspx](https://www.marinha.pt/pt/os_meios/Paginas/default.aspx), [Consult. 21 Mar.2021].
- Mendes, T. (2021). Gestão de Resíduos em navios de Subsuperfície - Estudo de Caso dos Submarinos da Marinha Portuguesa, Tese Mestrado, Escola Naval, Marinha, Alfeite.
- NATO (2020a). Environment – NATO’s Stake, North Atlantic Treaty Organization. [Em linha] Disponível em: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics\\_91048.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/topics_91048.htm), [Consult. 17 Jan.2021].
- Technology (2019). Do submarines actually release trash into world’s oceans? Maybe they don’t even have trash?. Technology.Org. [Em linha] Disponível em: <https://www.technology.org/2019/02/02/do-submarines-actually-release-trashinto-worlds-oceans-maybe-they-dont-even-have-trash/>, [Consult. 21 Mar.2021].
- Sarmiento, M. (2009). *Gestão pela Qualidade Total na Indústria do Alojamento Turístico*. Lisboa, Escolar Editora.
- Sarmiento, M. (2013). *Metodologia científica para a elaboração, escrita e apresentação de teses*. Lisboa, Universidade Lusíada Editora.

# ARESIBO – Augmented Reality Enriched Situation Awareness for Border Security. Evaluation Framework and Results of Large-Scale Trials.

V. Conceição (1), A. Tsigopoulos (2), G. Galanis (2), S. Toivonen (3)

(1) Escola Naval. [placido.conceicao@marinha.pt](mailto:placido.conceicao@marinha.pt)

(2) Hellenic Naval Academy

(3) VTT Technical Research Centre

**Summary:** ARESIBO - Augmented Reality Enriched Situation awareness for Border security is a Horizon 2020 program project to improve the efficiency of border surveillance systems by reinforcing the command-and-control capabilities of operational and tactical units. This work summarises the main results of evaluating the developed system, tested in two large-scale trials for the land border (in Finland) and maritime border (in Greece) use cases.

**Keywords:** H2020 ARESIBO, AR, EUSurvey, evaluation, methodology, metrics, KPIs, UX, large-scale demonstrator, land border, maritime border, surveillance, end-users.

## 1. INTRODUCTION

In recent years, the emergence of cross-border crimes at the outer borders of Europe has been a demanding challenge in the form of action by European border security agencies. The European Horizon 2020 project "Augmented Reality for Enriched Situation awareness for Border security – ARESIBO" (GA 833805) intends to develop an innovative solution to improve situational awareness in security operations in the field of borders.

The developed system aims to improve the cognitive capabilities and the perception of the agents responsible for border control through interfaces of intuitive use, helping them to understand, clearly and more precisely, the current situation in the field by filtering the vast information available from various

sources. This enhanced support will allow for a quick and efficient response when critical conditions occur (ARESIBO, 2019). The pillars of research, depicted in Fig. 1, are three-fold, aiming to:

1. Setting up a complete configuration at tactical and execution levels to optimise the collaboration between humans and sensors (fixed and mobile assets),
2. Improving situation awareness by enhancing the understanding of the situation through adapted processing of sensor data, the correlation between heterogeneous data and information and the creation of knowledge through deep learning techniques and
3. Creating a situation awareness capability at the C2 level that will combine reports on previous missions, real-time situation understanding and threat analysis for future actions.

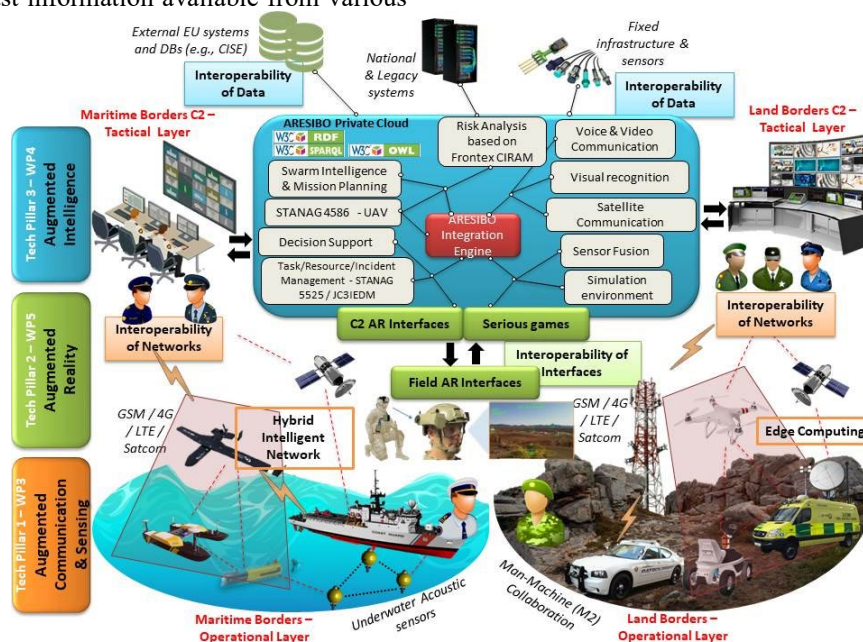


Fig. 1 - Conceptual representation of the ARESIBO system and its technological pillars

The system is tested and evaluated in actual conditions through two large-scale trials conducted in Finland and Greece for land border and maritime border use cases, respectively. These trials were carried out with the support of the project's technical partners and the end users' active participation. The aim was to test and demonstrate system capabilities and assess operational performance. It also aims for sensors and surveillance platforms optimisation and efficient collaboration between field teams and C2 tactical centres with the help of AR technology.

The rest of the paper is organised as follows: Section 2 provides the framework of the assessment method and the system's Key Performance Indicators (KPIs) and metrics. Section 3 briefly describes the methodology followed to validate the assessment method and the set-up of the live trials in Finland and Greece. Section 4 presents the main findings from the evaluation of the two problems concerning the metrics and KPIs, including the assessment of the cognitive aspects and the User Experience (UX) of the operators based on the AR technology and interfaces. Finally, section 5 provides the conclusion of the paper.

## 2. EVALUATION FRAMEWORK

For the evaluation, convergent mixed methods, combining qualitative and quantitative data collection methods, were adopted. While qualitative data embrace open-ended inquiries enabling explorative and innovative approaches, quantitative data usually include closed-ended questions, like those found on questionnaires, suitable to explain cases. The aim of merging both quantitative and qualitative data was to support a comprehensive analysis of the problems. Furthermore, this information integration in the analysis of the results enhances contradiction and incongruent interpretation and further probing into the system design. Therefore, this paper will focus mainly on the quantitative findings, whereas the qualitative results will be consolidated conclusions from the participant's free-text comments.

Augmented Reality is a crucial technology for ARESIBO to increase the operators' perception capability and time efficiency in accomplishing tasks. To enhance field operations' and C2 centres' situation awareness, field officers, tactical commanders, and C2 officers will use different AR wearables. Moreover, specific AR tools, interfaces, and functionalities tailored to field operations' needs were tested. Live video streaming, enriched data (images, text, voice/audio, live-drawn graphics), real-time spatial data, and remote assistance tools were among the data services available to the users. This abundance and variety of information sources coming through AR devices that will be used for the first time in the field require user experience (UX) assessment. The user's perceived usability and the system's user-friendliness were assessed to evaluate the user's cognitive ability improvement and the problems that

might arise from the immersive virtual environment in which the user is asked to operate.

To assess UX from ARESIBO AR technology, metrics and KPIs were established. Their measurement relied on empirical validation by comparing AR and legacy surveillance systems.

### 2.1. Tools for the evaluation

#### 2.1.1. Quantitative

For the quantitative assessment, the following 19 questionnaires were prepared. They were selected and applied to each field trial according to the deployed ARESIBO modules, use cases, and plan. A detailed description of the evaluation methods can be found in deliverable D2.9 (Conceição, Tsigopoulos *et al.*, 2022).

Questionnaires contributing to KPI assessment:

1. Augmented Reality: Serious Gaming
2. Augmented Reality: C2 assistance tools
3. Augmented Reality: Time-based visualisation
4. Augmented Reality: Field Officer remote assistance tools
5. Augmented Reality: Interoperability of Interface
6. Augmented Reality: AR devices
7. Augmented Intelligence: Decision making
8. Augmented Intelligence: Mission Planning
9. Augmented Intelligence: Risk Analysis
10. Augmented Intelligence: Simulator
11. Augmented Communication and Sensing: Hybrid Intelligence Network
12. Augmented Communication and Sensing: Sensing Optimisation
13. Augmented Communication and Sensing: Sensor Fusion
14. Augmented Communication and Sensing: Unmanned Vehicles (UxV) swarms
15. Performance comparison with Legacy Systems

Questionnaires for User Experience (UX) feedback:

1. Adapted TAM (Technology Acceptance Model) for Augmented Reality and Wearable Technology
2. SGUS - Smart Glasses User Satisfaction
3. QUIS - Questionnaire for User Interaction
4. SSQ - Simulator Sickness Questionnaire

Combining all the questionnaires enables the assessment of KPIs Research & Innovation Objectives (RIO) and the User-Oriented Objectives (UO) KPIs of ARESIBO, listed in Tab. I.

Table I - RIO and UO KPI

		KPIs	Target Values
RIO1	1	Situation awareness	> 5% improvement of the current status
	2	Spatial presence	> 7% improvement
	3	The error rate in mission control	> 5% improvement of the current status
RIO2	4	Surveillance coverage level	>30% improvement of coverage for the specified mission area to common uncorrelated UxV behaviour/missions and limited coordination with human assets in the field
RIO3	5	Target availability	over 99%

KPIs		Target Values	
RIO4	6	Resilience to penetration testing	100%
	7	Completion rate	Improvement 5%
	8	time-based efficiency	Improvement 8%
RIO5	9	Nr of external UxV/C2/AR/network interfaces to be connected with ARESIBO	3UxV platforms, 3 C2, 3 AR, 4 communication networks
	10	The time requirement for interfacing new systems into the core ARESIBO architecture	<1 week
UO2	11	Resource utilisation to accomplish the same tasks at the same time	~10% reduction
	12	Number of patrolling hours	10-20% reduction
UO3	13	Number of exposed and prevented border crossings	20% reduction.
RIO6	14	Time efficiency in decision making	8% improvement
	15	The precision of detection/forecasting	95% (supervised process)

Each of the 15 components of ARESIBO is assessed on a Likert agreement scale (1-7), Strongly disagree to agree Strongly, with the same set of questions. These questions are given below in Table II, for an example component, the "UxV swarms".

Table II. Questions of each ARESIBO Component

Code	Questions of component Q15 "UxV swarms"
PSA 1	The use of the UxV swarm's component helps in anticipating events during a surveillance mission
PSA 2	The use of the UxV swarm's component supports the user's capability to predict the next call
PSA 3	The use of the UxV swarm's component helps in an effective time management
PSA 4	The use of the UxV swarm's component makes you feel of being in control; able to implement elegant solutions during: Detection/Correlation/Identification/Decision/Action
PSA 5	The use of the UxV swarm's component helps in taking the right decision at the best moment, managing the contacts/threats in a safe and expeditious way
PSA 6	The use of the UxV swarm's component is detecting mismatches
PSA 7	The use of the UxV swarm's component limits any delays between ship-contact/threat interaction (hail at sea: call-answer)
PSA 8	The use of the UxV swarm's component decrease inconsistency in communication within the surveillance team during: Detection/Correlation/Identification/Decision/Action
PSA 9	The use of the UxV swarm's component reduces the sudden and unexpected variation of workload during the: Detection/Correlation/Identification/Decision/Action
PSA 10	The use of the UxV swarm's component does not cause confusion during the: Detection/Correlation/Identification/Decision/Action
PSA 11	The use of the UxV swarm's component reduces the need to check the same information several times to understand and reproduce

The following questionnaires contributed to the KPI and metrics assessment of ARESIBO User Experience (UX), and they are rated for the various statements from 1 (Strongly Disagree) to 7 (Strongly

Agree). If not applicable, the option N/A can be selected.

Table III. Questionnaires of UX KPIS and metrics

Questionnaire	Questions
Cognitive Workload (COG)	3
Spatial Representation of Contextual Information (SPAT)	3
Reduction of Time and Errors (RTE)	6
Perceived Ease of Use (PEOU)	10
Perceived Usefulness (PU)	6
Attitude Toward Using (AT)	3
Behavioural Intention to USE (BI)	4
Smart Glasses (AR devices) User Satisfaction	11

The QUIS questionnaire indicates the feelings of the users about the AR devices. Assessing the following factors:

1. Overall reaction to the software
2. Characters on the display
3. The organisation of information on the display
4. Positioning of messages
5. Messages on the screen which prompt the user for input
6. Learning to operate the glasses
7. Exploring new features by Trial and error
8. Tasks can be performed in a straightforward manner

Finally, the last UX questionnaire (SSQ) reports on any sickness effects factors, from none (0) to severe (3), experienced by the users during the time they were using the AR devices.

### 2.1.2. Qualitative

Interview questionnaire: In addition to the above, participants were interviewed by the ARESIBO team after filling out the questionnaire to get more detailed feedback on the experience. The reason for the interview questionnaire is that the number of end-user participants in the trials is limited. Therefore, their clear opinion about the usability and AR features of the ARESIBO system in their daily routine tasks is essential.

## 3. VALIDATION OF THE EVALUATION FRAMEWORK

The above quantitative evaluation framework is reported in deliverable D7.1 (Conceição, Ferrari *et al.*, 2022) and was iteratively tested and validated over ten months in four different events. During these events, the questionnaires were applied for other validation purposes. They went from an adapted AR user-experience assessment to a questionnaire usability and reliability study. Again, the pandemic constraints led to the implementation of novel methods, namely online-based events with remote demonstrations and user-experience assistance. The last evaluation activity took the opportunity to implement the questionnaire during an integration test event involving the ARESIBO partner's end-users.

In December 2020, the first application of the evaluation framework happened, where a set of questionnaires were used for AR user experience

online tests. Furthermore, the questionnaires were implemented with the "Questback" questionnaire application. The event aimed to test and assess the first prototypes of the ARESIBO Augmented Reality technologies supporting augmented reality features and the assessment of the questionnaires and interview script for integrated trials. Sixty-six end-users from HMOD, FBG, MARINHA and BDI participated remotely. The main findings pointed to the need to solve usability and feasibility issues and change the questionnaire application to "EUSurvey". A set of criteria were considered for selecting the survey platform, like licence management, ethics, GDPR compliance and information security regulations. For the Trial, we narrow the selection to two options © Questback and EUSurvey. Ultimately, we decided to move on with the EUSurvey tools since it is EU granted and does not require commercial licenses.

In March 2021, after considering the lessons identified in the first utilisation, an online pilot test of the questionnaire was performed using the "EUSurvey" platform with MARINHA and HMOD participants. This test was designed to understand whether the questionnaire used to assess the efficiency of the technological components and the usability of the AR equipment of the ARESIBO project was adequate, detailed enough, adequately structured and user-friendly to cover all aspects of the ARESIBO system. The method was tested and analysed based on feedback from twelve volunteers from MARINHA (19.03.2021) and HMOD (24.03.2021).

In May and June 2021, the third evaluation activity to validate the "EUSurvey" online assessment tool took place. This test was carried out to conduct a preliminary evaluation of the AR tools (monocular, binocular and tablet) but also contributed to the methodology's validation process for evaluating the technical solutions' performance metrics. For this demonstration and validation event, 43 participants (officers specialising in border surveillance) of various nationalities were engaged from partner organisations of the ARESIBO project (HMOD, MARINHA, FBG, SPP, BDI).

Finally, in September 2021, we conducted the first assessment of the evaluation framework in a real-life event. This test was conducted to run a second application of the evaluation framework, with the changes made from the previous online test, during a real-life integration test event. It contributed to the final validation process of the methodology for evaluating the performance metrics of ARESIBO's technical solutions. Ten SMEs from BDI, MARINHA, HMOD and BDI collaborated for this final appraisal.

The validation methodology was applied to the two real-life large-scale trials in Imatra, Finland (15-25 March 2022) and Skaramagkas, Greece (5-13 May 2022). The Finnish Trial was organised near the Eastern border of Finland, in the training area of the Finnish Border Guard's Border and Coast Guard Academy, with the participation of (Unmanned Ground Vehicles (UGV), road cameras and patrol cars. Greek Trial was conducted at Skaramagkas Naval Base with the involvement of Unmanned Air Vehicles (UAV), Unmanned Underwater Vehicles (UUV), Hellenic Navy vessels, and legacy systems (AIS, meteorological sensors, and port cameras). After each event, a series of interviews were performed with end-users from different organisations and countries on the issue of border security and migration to collect qualitative feedback. Both trials' descriptions are detailed in deliverable D7.3 (Tsigopoulos, Vazouras. *et al.*, 2022).

The test scenarios for the Finnish Trial were based on two main foreseeable scenarios: illegal trespassing through the green border and human trafficking. The arrival in the restricted area happened by walking. Scenarios with a car available to transport persons were also included. The test scenario for the Greek Trial concerned smugglers' border violation in the sea test bed of HMOD Naval Base. The extent and nature of the breach and the conditions created the need for simultaneous and coordinated action of HMOD assets, including UxV and legacy vessels.

#### 4. MAIN FINDINGS AND CONCLUSIONS FROM THE LARGE-SCALE TRIALS

The detailed analysis of the full-scale evaluation of the ARESIBO system based on the metrics and the KPIs that were measured during the large-scale trials and the cognitive aspects and AR influence on border security operations is presented in deliverable D7.4 (Tsigopoulos, Galanis *et al.*, 2022). The main findings of this evaluation can be summarised as follows:

##### 4.1. Tactical Level KPIs

Fig. 2 presents, on a Likert scale (1-7), the average scores by the participants for each tested technological component of ARESIBO (e.g., C2 Assistance Tools, Interoperability of Interfaces, Hybrid Intelligence Network, etc.). It is evident that almost all system components scored above average (i.e., 4,0), which shows positive feedback from the participants for the technologies developed in ARESIBO.

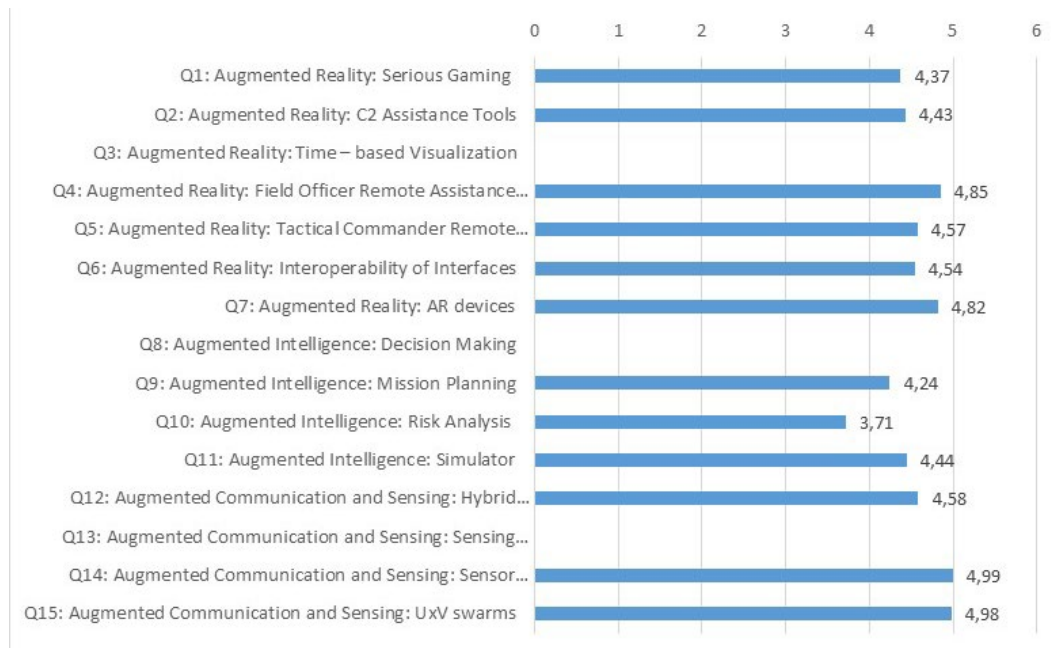


Fig. 2. Summary of participants' average score for each tested component of the ARESIBO system from the Questionnaire for Tactical Level KPIs and components usability.

4.2. UX assessment

The most crucial finding concerning UX was the Smart Glasses User Satisfaction (SGUS). As can be observed in Fig 3, participants were asked to rate 11 statements from "Strongly disagree" to "Strongly Agree" concerning their perceived satisfaction with the Smart Glasses (AR devices).

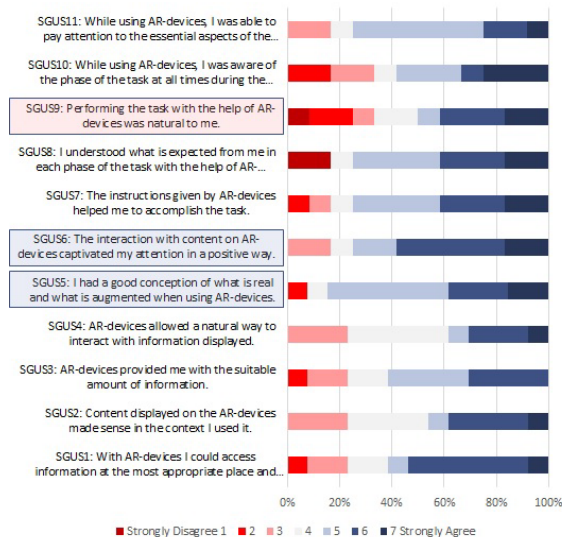


Fig. 3. Summary of participants' scores for each tested statement for the Smart Glasses User Satisfaction (SGUS) assessment.

Participants stated some agreement (grey and blue colours) in all statements regarding their perceived satisfaction with the Smart Glasses (AR devices). The

best scores were for the following statements SGUS5 and SGUS6 (highlighted in blue shading), while SGUS9 scored less than all others (highlighted in pink shading):

- "SGUS5: I had a good conception of what is real and what is augmented when using AR devices.": 4,86/7,00,
- "SGUS6: The interaction with content on AR devices captivated my attention in a positive way.": 4,86/7,00,
- "SGUS9: Performing the task with the help of AR devices was natural to me.": 4,08/7,00.

Next, a consolidated summary of the overall UX assessment for both large-scale trials is given in Fig.4. As can be seen, the participants' user experience was positive (average values close to and above 4,0). The most important conclusion is that the UX has improved from the Finnish to the Greek Trial as technical partners corrected some issues mentioned by the Finnish participants in the elapsed time between the two trials. From the results shown in Fig. 4, it is evident that AR technology has the potential to enhance border surveillance operations as the attitude towards using the new technology is mainly assessed positively.

The presented results refer to the fulfilment of the KPIs set in Table 1. The participants also responded to 37 questions, comparing the ARESIBO system with their legacy systems in border control operations. Possible answers varied from -100% to +100% performance relative to the legacy systems.

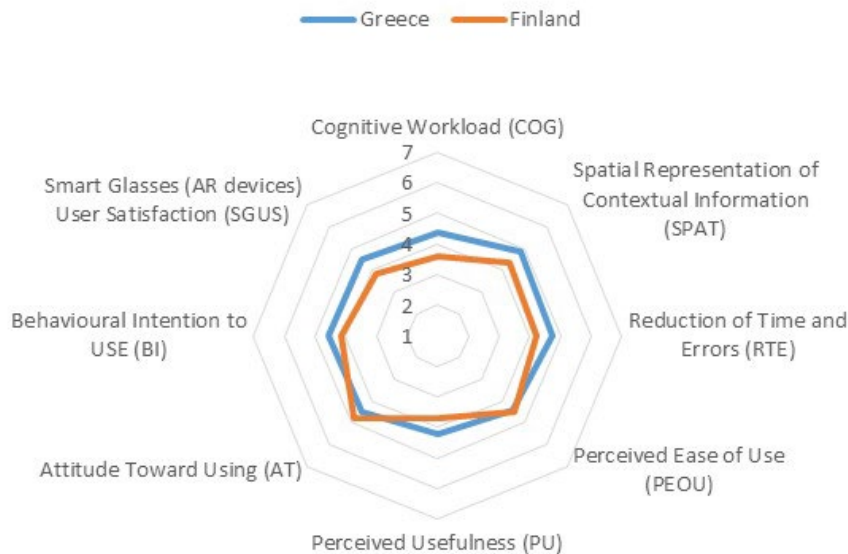


Fig. 4. Summary of participants' scores for each tested UX metric for the Finnish and the Greek trials.

#### 4.3. Main Conclusions from System Evaluation and UX assessment

The main conclusions from the system evaluation and the UX assessment, performed with the methodology described and the participants' feedback, can be summarised as follows:

- Almost all components** of the ARESIBO system were **rated above average** showing positive feedback.
- All project KPIs**, measured compared to the end users' legacy systems, were **fully or partially met**.
- Integrating systems and technologies is the most significant advantage compared to the end-users' legacy systems and the **applications** offered by the **AR devices**.
- C2 and TC applications** are considered to **improve situational awareness**, while **FO** devices offer fewer functionalities.
- Sending and receiving images, videos, and voice commands were very much appreciated.
- Issues concerning the **FO** application menus, symbols used and screen visibility under particular conditions were reported.
- AR devices and the developed applications **improve situational awareness**, provide **faster decision-making** and support **task completion**.
- AR devices enable **data sharing information** (including photos and videos) during operations and enable **better target detection, correlation, and identification**.
- Issues concerning the **weather resilience** and **ergonomics** of the AR devices in real field operations and some functionalities limitations of using the HoloLens AR device on board patrolling ships were reported.
- The ease of use of AR devices has generally been evaluated positively – **clear, convenient to use, understandable, and straightforward**, with a

reasonable learning curve and **low need** for technical support.

- The **attitude towards using AR** is generally **positive**, and so is the user interaction with the software applications of the devices and the **intention to use AR devices** when they would be available for border surveillance operations.
- Comments reported by the Finland participants considering the **workload** entailed by using the AR devices and the **perceived usefulness were considered and improved** by the technical partners leading to a **positive assessment** by the Greece participants.
- The **users' satisfaction with AR devices** was assessed close to the **average** value for both trials, with the Greek trial participants giving a higher-than-average score.
- The users of the AR devices reported no sickness symptoms worth noting**.
- One of the innovations in ARESIBO was the **simulation-based training** system that allowed for the training of the border guard officers (FO, TC, C2) in the ARESIBO environment. As the end-users had no previous experience with AR tools, it was important for them to get customised with AR devices before using them in a natural environment.

#### 5. CONCLUSION

This work summarises the main results of the System Evaluation of ARESIBO based on the metrics and the KPIs that were measured during the large-scale trials in Finland and Greece and the cognitive aspects and AR influence on border security operations.

The presented analysis is both qualitative and quantitative. It is grounded on the participants' rating of the system, the devices and the applications, with a specific grade scale (Likert or other), and the analysis of the participants' freely expressed opinions

from their experience after having used the system and its constituent components and services.

This work presents the full-scale evaluation of ARESIBO both on the component level and for the system. The assessment is based on the metrics, and KPIs measured during the trials. The KPIs are specified in two levels: Component and System levels. The first is to assess the quality of results and the performance of each module of the system individually. The second is related to border security operations and is specified to evaluate the system's performance. In addition, KPIs are defined to support the complete assessment functionality offered by several subsystems, including the interactions and flow of information. Finally, a section devoted entirely to comparing ARESIBO with legacy systems is presented. In this section, the end-users compare the ARESIBO system with their legacy systems to produce the system KPIs and compare them with the target KPIs set in the GA (833805) to provide a clear, quantitative assessment of the reached outcome of the ARESIBO system.

#### **Acknowledgement**

This work has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under Grant Agreement No 833805.

#### **REFERENCES**

- ARESIBO. (2019). Grant Agreement No: 833805
- ARESIBO. (s.d.). Augmented Reality Enriched Situation Awareness for Border Security. Obtained in May 2020, de ARESIBO: <https://aresibo.eu/>
- Conceição, V., Tsigopoulos, A., Pereira Faria M., Moreira R., Ferrari O., (2022). CONOPS analysis, demonstration scenarios and evaluation metrics V2. Deliverable 2.9 of the ARESIBO project. GA No: 833805.
- Conceição, V., Ferrari O., Toivonen S., Helin K., Tsigopoulos, A., Pereira Faria M., Moreira R., (2022). Evaluation Methodology Report. Deliverable 7.1 of the ARESIBO project. GA No: 833805.
- Tsigopoulos, A., Vazouras C., Haasto L., Toivonen S., Helin K., Papataxiarchis V., Puncer V., Todorovski D., Beretta L., Jauer I., Bulach C., Andeva M., Luda di Cortemiglia V., Männistö T., Monteiro. A.B., (2022). Pilot Demonstrations Report. Deliverable 7.3 of the ARESIBO project. GA No: 833805
- Tsigopoulos, A., Galanis G., Toivonen S., (2022). Public Evaluation Report. Deliverable 7.4 of the ARESIBO project. GA No: 833805.

# Comportamento de Painéis de Vidro Laminado à Ação de Explosões – Geração de Curvas Pressão-Impulso (P-I)

**Autores:** T. Oliveira (1), P. Matias (2), C. Cismasiu (3)

- (1) Centro de Competências para Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. oliveira.tam@exercito.pt  
(2) Centro de Competências para Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. matias.pjsg@exercito.pt  
(3) Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologias NOVA. cornel@fct.unl.pt

**Resumo:** A explosão é dos meios mais comuns e mais eficazes de causar danos a pessoas ou propriedade, quer em ambiente militar ou em ambiente civil, como é o caso do terrorismo. As fachadas envidraçadas apresentam também um dos maiores perigos para a segurança das pessoas dentro de um determinado edifício, isto faz com o seu estudo dos vidros de segurança, neste caso o vidro laminado, seja ainda mais importante. A maneira como se dimensiona uma fachada envidraçada não pode excluir as explosões e as pressões que estas podem causar, para isso, com recurso ao programa de modelação LS-Dyna, realizaram-se vários modelos de elementos finitos de painéis de vidro laminado, apoiados com ensaios experimentais, de forma a traçar curvas de pressão-impulso e assim saber o tipo de explosão e carregamento causado pela mesma que um determinado painel de vidro consegue aguentar num critério de rutura definido.

**Palavras-chave:** Explosão; Vidro laminado; Pressão; Impulso.

## 1. INTRODUÇÃO

Um dos papéis mais importantes da construção, em qualquer ponto da história, é a defesa, desde os antigos castelos medievais às fortificações modernas. Na nossa atual sociedade, com o crescimento de atividade terrorista e de explosões acidentais, os edifícios civis de grandes dimensões e onde se juntam grandes congregações de pessoas, como escritórios, aeroportos ou locais de culto, não podem ser projetados apenas para nos proteger da chuva, do frio ou do vento, mas sim para estarem na linha da frente do combate a essas ameaças de forma a garantir a nossa segurança e bem estar.

A principal ameaça, passados apenas milissegundos desde a detonação do explosivo em si, é associada aos fragmentos dos painéis de vidro ou dos sistemas de envidraçamento [1].

Em 1995 um carro bomba detonou num edifício federal na cidade de Oklahoma nos Estados Unidos da América num ataque que ficou conhecido como *Oklahoma City Bombing*. Neste ataque o explosivo detonou a cerca de 5 metros da fachada norte do edifício e causando 168 fatalidades [2].

Após a explosão foram reportados vidros partidos até um raio de 10 quarteirões e que 362 das 426 pessoas hospitalizadas tinham ferimentos causados por estilhaços de vidro [1].

Este projeto focou-se então na análise de painéis de vidro laminado sujeitos à ação de explosões, com o objetivo principal de avaliar o estado atual do conhecimento no que diz respeito à análise e dimensionamento desses painéis de vidro laminados, assim como o desenvolvimento de uma ferramenta informática para o dimensionamento e verificação de

segurança de painéis de vidro laminado baseado em modelos de um grau de liberdade, com o apoio de uma campanha experimental.

## 2. EXPLOSÃO E AÇÃO DE UMA EXPLOSÃO

Uma explosão é definida por um processo em que uma onda de pressão de amplitude finita é gerada no ar devido a uma rápida libertação de energia [3].

A fonte dessa energia pode vir de uma explosão física recorrendo a explosivos físicos como a pólvora ou o Trinitrotolueno (TNT) através de uma reação química, ou até de uma transformação nuclear descontrolada [4].

Ao ocorrer uma explosão dá-se uma rápida libertação de energia, que é transferida pelo ar circundante através da criação de uma onda de choque (Karlos et al., 2016). À medida que esta onda se afasta do ponto de detonação a velocidade da mesma diminui, assim como a sua capacidade destrutiva pois a onda de choque ir-se-á expandir para um espaço progressivamente maior, diminuindo a pressão atuante numa qualquer estrutura específica (Fig 1) [2].

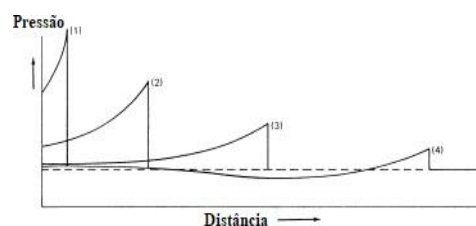


Fig.1. Típicas curvas pressão-distância de uma explosão, adaptado de [5]

Uma onda de choque pode então definir-se pela, muito abrupta, quase instantânea, mudança de pressão que resulta de uma explosão [6]. É possível prever evolução de pressão ao longo do tempo para uma onda ideal (Fig. 2). Enquanto a onda de choque não chega ao local verificamos que a pressão é a pressão atmosférica, ( $P_0$ ), com a chegada da frente de choque, no tempo de chegada, ( $t_A$ ), considera-se instantaneamente um aumento instantâneo da pressão até chegarmos à pressão de pico incidente, ( $P_{SO}$ ), de seguida dá-se um rápido decaimento na sobrepressão positiva (pressão superior à pressão atmosférica) até que esta volta a atingir os níveis da pressão atmosférica no tempo total, ( $t_A + t_d$ ), ou  $t_0$ , esta sobrepressão positiva é seguida por uma sobrepressão negativa (pressão inferior à pressão atmosférica) que atinge um valor mínimo, ( $P_{SO}^-$ ) até que eventualmente retorne à pressão atmosférica [7].

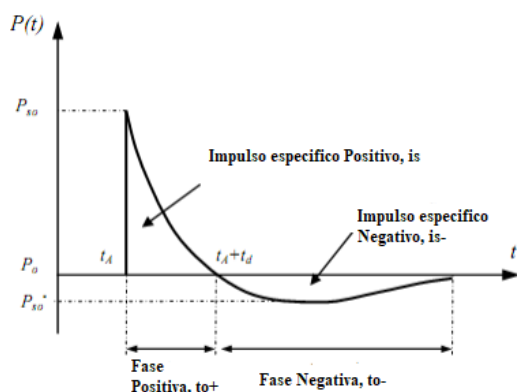


Fig 2. Perfil idealizado para a variação da pressão, adaptado de [8]

O perfil da onda de choque é descrito pela equação de Friedlander, que para a detonação aérea perfeita de uma carga esférica, é dado por [7]:

$$P_S(t) = P_{SO} \left[ 1 - \frac{t}{t_0} \right] e^{-b \left( \frac{t}{t_0} \right)} \quad (2.1)$$

Onde  $b$  é o coeficiente de decaimento da onda.

### 3. VIDRO LAMINADO

Vidro laminado consiste em pelo menos dois painéis de vidro ligados através de um plástico ou polímero transparente. Este tipo de vidro é bastante interessante para aplicações estruturais pois o processo de laminar o vidro resulta numa melhoria significativa no comportamento do vidro em relação à quebra e fragmentação, por esta razão o vidro laminado é considerado um “vidro de segurança” [9].

O material mais utilizado nas camadas intermédias dos painéis de vidro laminado utilizados na construção e na indústria automóvel, é o Polivinil Butiral (PVB). O PVB é um polímero dúctil e viscoelástico, isto quer dizer que as suas propriedades físicas variam com a temperatura e com a duração da

aplicação da carga. A temperatura influencia a deformação que se vai observar [10].

## 4. CAMPANHA EXPERIMENTAL

### 4.1. Setup experimental

Esta campanha experimental procurou calibrar a ação da explosão num painel de vidro de 2m x 1m, de forma a validar o modelo originado por métodos numéricos, através da medição da pressão incidente de pico, ( $P_{SO}$ ) da pressão refletida de pico, ( $P_R$ ), e pela aceleração, ( $a$ ), sendo que todas estes parâmetros foram medidos em simultâneo em cada ensaio. Para este efeito idealizou-se um *setup* experimental cujo esboço do seu perfil pode ser observado na Fig 3.

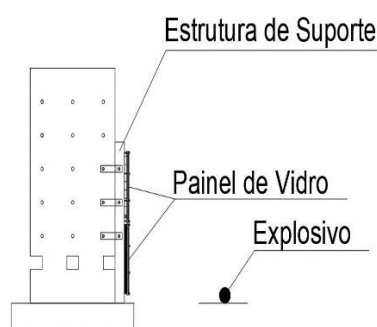


Fig 3. Esboço do setup experimental utilizado

O *setup* é constituído por um perfil metálico SHS 200x8 de aço S355 J2H, preso a duas paredes de betão, que faz de estrutura de suporte para o sistema de fixação do painel de vidro laminado. Este é um sistema de fixação mecânico de aperto constituído por duas chapas metálicas S355 de 15 milímetros de espessura que são presas à estrutura de suporte através de varões roscados M12 de classe 8.8 e fazem o aperto no painel de vidro através de varões roscados M10 de classe 8.8. Para fazer as medições recorreu-se a dois sensores de pressão incidente, colocados perpendicularmente à linha reta entre a carga e o painel de vidro à mesma distância da carga que esta está da estrutura, dois sensores de pressão refletida, aparafusados à chapa de fixação na parte superior e inferior do painel de vidro, e um acelerómetro colocado no centro do painel de vidro à retaguarda do mesmo.

### 4.2. Resultados experimentais

Foram realizados seis ensaios, todos com cargas de 5 kg a 12, 10, 9, 7, 6 e 5 metros cujas pressões incidentes e refletidas foram calibradas através da equação modificada de Friedlander. As pressões incidentes e refletidas de pico foram então comparadas com as calculadas nos modelos teóricos do *Unified Facilities Criteria* (UFC) 3-340-02,

como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2. Os impulsos foram calculados, de forma a entender se o efeito que a estrutura iria sofrer iria ser semelhante ao esperado mesmo que a pressão de pico fosse muito diferente, através da expressão [7]:

$$i_s^+ = P_{so} t_o \left[ \frac{1}{b} - \frac{1 - e^{-b}}{b^2} \right] \quad (4.1)$$

Tabela 1. Pressões e impulsos incidentes registados e comparação com o UFC

W (kg)	R (m)	$P_{so}$ (kPa)	$P_{so}$ (UFC) (kPa)	Variação (%)	$I_{so}$ (kPa.ms)	$I_{so}$ (UFC) (kPa.ms)	Variação (%)
5	12	55.85	24.80	125.20	217.00	74.30	192.06
5	10	52.10	33.10	57.40	253.82	88.00	188.43
5	9	99.53	39.50	151.40	261.35	96.80	169.99
5	7	155.25	62.10	150.00	285.93	120.90	136.50
5	6	140.37	83.80	67.51	214.12	138.30	54.82
5	5	238.85	122.10	95.62	320.50	162.20	97.60

Tabela 2. Pressões e impulsos refletidos registados e comparação com o UFC

W (kg)	R (m)	$P_r$ (kPa)	$P_r$ (UFC) (kPa)	Variação (%)	$I_r$ (kPa.ms)	$I_r$ (UFC) (kPa.ms)	Variação (%)
5	10	150.82	74.70	101.90	320.99	180.70	77.64
5	9	126.62	91.00	39.14	370.10	202.90	82.41
5	7	267.65	153.90	73.91	427.86	268.60	59.29
5	5	748.53	354.20	111.33	938.24	395.20	137.41

A medição das acelerações máximas encontra-se registada na Tabela. 3.

Tabela 3. Acelerações máximas medidas

W (kg)	R (m)	Aceleração (m/s <sup>2</sup> )
5	12	2168.13
5	9	1418.04
5	7	667.95
5	6	1543.05
5	5	1730.58

Ao analisar estes resultados é possível compreender que estes não são muito coerentes entre si uma vez que existem distâncias reduzidas maiores que medem pressões e acelerações maiores o que não seria o de esperar. Devido a erros em algumas medições houve ensaios retirados dos resultados da pressão refletida e da aceleração.

## 5. ESTUDO NUMÉRICO

### 5.1. Caracterização do modelo de elementos finitos

Devido aos custos elevados das campanhas experimentais e a inconsistência das condições ambientais é importante a utilização de modelos numéricos.

Para o modelo do vidro tirou-se proveito da dupla simetria do mesmo de forma a diminuir o tempo de cálculo do programa (Fig. 4). No entanto o modelo final é composto pelo vidro junto com o sistema de fixação.

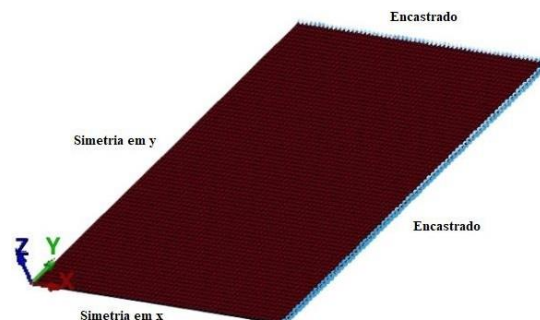


Fig 4. Modelo completo do painel de vidro laminado

A modelação do painel de vidro laminado foi a parte mais complexa do trabalho para isso recorreu-se a três elementos *shell*, a duas dimensões, uma vez que para alguns destas dimensões existiria um custo computacional demasiado elevado se as camadas do painel fossem modeladas como sólidos. As *shells* dos vidros foram modeladas recorrendo com o material MAT\_001\_ELASTIC devido ao seu comportamento frágil, enquanto a camada de PVB foi modelada através do material MAT\_098\_SIMPLIFIED\_JOHNSON\_COOK. A ação da explosão foi modelada através de uma curva inserida no LS-Dyna, através da keyword DEFINE\_CURVE, que consiste de uma simplificação triangular em que se simplifica a parte

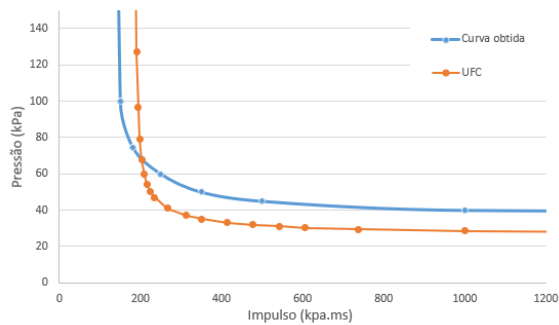
positiva da curva de variação de pressão como um triângulo equivalente.

### 5.2. Validação do modelo

Os modelos numéricos foram validados utilizando os ensaios experimentais realizados por Hooper et al. [11], em 2012 e por Zhang et al. [12], em 2015, uma vez que os resultados dos ensaios realizados para esta dissertação não foram suficientes para validar o modelo sozinho. Foram obtidos erros compreendidos entre os 4.46% e os 16.26% tendo existido anomalias pontuais que apresentam erros até aos 37% que são excluídas uma vez que estão tão fora da média de erros obtida. Esta percentagem de erros é um pouco elevada, no entanto ensaios reais fora das condições ideais de laboratório tendem a sofrer erros mais elevados do que se fossem realizados em laboratório.

### 5.3. Análise Pressão-Impulso (P-I)

Com o modelo validado, foi possível utilizá-lo para gerar curvas de Pressão-Impulso (P-I), para o painel de vidro laminado ensaiado na campanha experimental que é comparado com a curva existente na norma UFC. Isto é possível pois o critério de rotura é a fratura do vidro, possibilitando a sua comparação a um painel de vidro temperado de espessura equivalente. Estas curvas são de extrema importância para o dimensionamento de fachadas envidraçadas. Sendo possível a sua geração para vários critérios de rotura, desde a rotura do vidro como é este caso, até à extensão completa do PVB.



## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios experimentais não obtiveram resultados muito coerentes, o que reforça ainda mais a necessidade de desenvolver modelos numéricos como o apresentado nesta dissertação.

O modelo numérico, desenvolvido no LS-Dyna, apresentou resultados positivos quando comparados com os resultados experimentais dos autores mencionados, no entanto existe espaço para melhorar e assim tornar os erros ainda mais reduzido.

Foi possível a geração de curvas Pressão-Impulso (P-I) com relativo sucesso, sendo no futuro importante a comparação das mesmas com uma campanha experimental mais extensa.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desafiante e seria ainda mais sem o apoio e motivação dos meus amigos mais próximos e família que tanto me ajudaram não só nesta fase como em todo o meu percurso académico.

Um agradecimento especial tem também de ser dado aos orientadores desta dissertação, Tenente Coronel Pedro Matias e Sr. Professor Corneliu Cismasiu pela disponibilidade e assistência prestada ao longo deste projeto, assim como aos militares presentes na campanha de ensaios no Campo Militar de Santa Margarida pois sem a sua ajuda os ensaios teriam sido impossíveis de realizar.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. Eslami, K. M. Mosalam, V. Kodur, S. Marjanishvili, B. Katz, and H. N. Mahmoud, "Multi-performance blast pressure-duration curves of laminated glass panes," *International Journal of Protective Structures*, vol. 12, no. 2, pp. 226–244, 2021.
- [2] E. Yandzio and M. Gough, *Protection of Buildings Against Explosions*. Teh Steel Construction Institute, 1999.
- [3] U. S. A. M. C. Headquarters, *Engineering Design Handbook. Explosions in Air. Part I*, AD/A- 00381. Alexandria, Virginia: AMC Pamphlet AMCP 706-181, 1974.
- [4] I. G. Cullis, "Blast waves and how they

interact with structures.," *J Army Med Corps*, vol. 147, no. 1, pp.16–26, 2001.

- [5] Gilbert F. Kinney and Kenneth J. Graham, *Explosive Shock in Air*, 2nded. New York: The Macmillan Company, 1985.
- [6] D. A. Crowl, *Understanding Explosions*. New York City, New York: American institute of ChemicalEngineers, 2003.
- [7] W. E. Baker, P. A. Cox, P. Westine, J. Kulesz, and R. A. Strehlow, "Explosion Hazards and Evaluation," vol. 5, 1983
- [8] W. C. Wedding, "Experimental Study of Blast Resistant Glazing System Response to Explosive Loading," University of Kentucky, 2010.
- [9] C. Morison, "The Resistance of Laminated Glass to Blast Pressure Loading and the Coefficients for Single Degree of freedom Analysis of Laminated Glass," Cranfiels University, 2007.
- [10] S. C. Angelides, J. P. Talbot, and M. Overend, "The effects of high strain- rate and in-plane restraint on quasi- statically loaded laminated glass: a theoretical study with applications to blast enhancement," *Glass Structures and Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 403–420, 2019.
- [11] P. A. Hooper, R. A. M. Sukhram, B. R. K. Blackman, and J. P. Dear, "On the Blast Resistance of Laminated Glass," *Int J Solids Struct*, vol. 49, no.6, pp. 899–918, 2012.
- [12] X. Zhang, H. Hao, and Z. Wang, "Experimental study of laminated glass window responses under impulsive and blast loading," *Int J Impact Eng*, vol. 78, pp. 1–19, 2015

# Estudo do problema de etiquetagem para tarefas de segmentação de fumo e fogo utilizando *active learning*

**Autores:** T. Marto (1), G. Cruz (1) e A. Bernardino (2)

- (1) Centro de investigação da Academia da Força Aérea. [trmarto,gcruz}@academiafa.edu.pt](mailto:trmarto,gcruz}@academiafa.edu.pt)  
(2) Instituto de Sistemas e Robótica, Instituto Superior Técnico. [alex@isr.tecnico.ulisboa.pt](mailto:alex@isr.tecnico.ulisboa.pt)

**Resumo:** No passado recente, os incêndios florestais têm tido um impacto profundo nos ecossistemas e nas sociedades. Apesar dos esforços das equipas de combate a incêndios, milhares de hectares de floresta são queimados todos os anos. Isto deve-se a uma capacidade de atuação limitada e à complexidade de fatores que afetam a propagação dos incêndios. Assim, a tomada de ações eficazes depende do conhecimento situacional no momento. Este conhecimento pode ser incrementado com sistemas de deteção automática de fogo e de fumo. Este trabalho pretende estudar modelos de aprendizagem profunda que necessitem de poucos dados etiquetados, nomeadamente com a utilização de *active learning*. Assim foram consideradas abordagens, que também procuram diminuir a carga de trabalho na tarefa de anotação, em particular o algoritmo *Cost Effective Active Learning (CEAL)*. Este trabalho foi desenvolvido no contexto do projeto FIREFRONT e assim procurou-se integrar do CEAL em trabalhos já existentes.

**Palavras-chave:** *Active Learning*, Incêndios Florestais, Classificação, Deteção.

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são um dos fenómenos naturais que maiores desafios colocam a sociedades modernas, em particular com as alterações climáticas a aumentarem o risco e as consequências desses mesmos incêndios. Por exemplo, só nos Estados Unidos da América, é estimado que o número de grandes incêndios florestais duplicou entre 1984 e 2015 (Wehner *et al.*, 2017). Para além do impacto que têm nos ecossistemas, ao destruir fauna, flora e solos, os incêndios causam ainda perda de vidas humanas, perdas de infraestruturas e custos significativos na atividade de combate. Só em 2017, em Portugal, arderam cerca de 540000 hectares (ICNF, 2021) e 120 pessoas perderam a vida (Turco *et al.*, 2019). Para além destas perdas, estima-se ainda que entre 2002 e 2016, os incêndios tenham custado a Portugal 150 milhões de euros anualmente.

Com os dados apresentados, surge a necessidade de melhorar as técnicas para prevenir e combater este flagelo. Um dos aspetos que minimiza o impacto dos incêndios, é a sua deteção e ataque precoce. Na maioria dos casos essa deteção é feita pela população ou por torres de vigia, o que apenas consegue fazer uma estimativa grosseira da localização e dimensão do fogo. Uma das soluções que se afigura como mais promissora, é a utilização de Veículos Aéreos Não-Tripulados (VANT). Estes veículos podem executar missões longas e evitam colocar vidas humanas em perigo. Contudo, a perceção obtida com estas plataformas tem algumas limitações, que podem ser

minimizadas com tecnologias como a deteção automática com base em *machine e deep learning*. É neste contexto que surge o projeto FIREFRONT, onde entre outros objetivos, se pretende estudar a aplicação deste tipo de ferramentas para processar imagens captadas por VANTS.

As técnicas de *machine learning* (ML), apesar de terem revolucionado a área da visão computacional na última década, assentam sobretudo em algoritmos que necessitam de grandes quantidades de dados devidamente etiquetados. O tipo de etiquetagem requerida, por seu lado, depende muito da tarefa que se pretende atingir. Tipicamente, tarefas de classificação necessitam de etiquetas rápidas de obter. Tarefas de deteção já exigem a elaboração de *bounding boxes* e a atribuição de uma classe a cada uma delas. Já as tarefas de segmentação, necessitam da especificação da classe de cada pixel numa imagem. Assim torna-se extremamente penoso e exigente em termos de tempo, etiquetar um conjunto de imagens de grande dimensão.

## 2. Revisão Bibliográfica

Na área do *machine learning* existe uma forte relação entre a quantidade e qualidade dos dados utilizado para a aprendizagem e o desempenho atingido pelos modelos treinados. Assim, os métodos de aprendizagem supervisionados, oferecem os dados mais informativos e genericamente atingem os melhores resultados. Contudo, conforme referido anteriormente, obter dados em qualidade e quantidade para a aprendizagem pode ser uma tarefa árdua.

Tendo em conta algumas desvantagens de métodos supervisionados, no FIREFRONT, têm sido exploradas abordagens alternativas como métodos de aprendizagem semi-supervisionados e auto-supervisionados. Contudo, até ao momento ainda não foram considerados métodos de aprendizagem ativa (AA), ou seja, que utilizam a interação de um utilizador para maximizar a capacidade de aprendizagem.

Nos métodos de AA para lidar com imagens, existem essencialmente dois objetivos: classificação e segmentação. Na área da classificação, o algoritmo que se destaca é o CEAL (*Cost Effective Active Learning*). Em cada ronda de treino de uma rede neuronal, o algoritmo tem acesso a um pequeno conjunto de dados etiquetados e no fim de cada ronda,

auxiliar os resultados do CAM, é feito algum processamento posterior, com recurso ao método *Conditional Random Fields (CRF)*, onde este tem como função avaliar de que forma a informação contextual da imagem, em redor da zona mais ativa pelo CAM, será responsável pela predição feita pelo modelo de classificação.

### 3. Metodologia

Tendo em conta que o CEAL é um modelo de classificação, é necessário construir uma estrutura que incorpore a classificação com a segmentação. Como tal, foi proposta o diagrama de operações representado na Figura 1.

O modelo proposto é treinado num conjunto de dados iniciais (escolhido pelo utilizador) que produz a

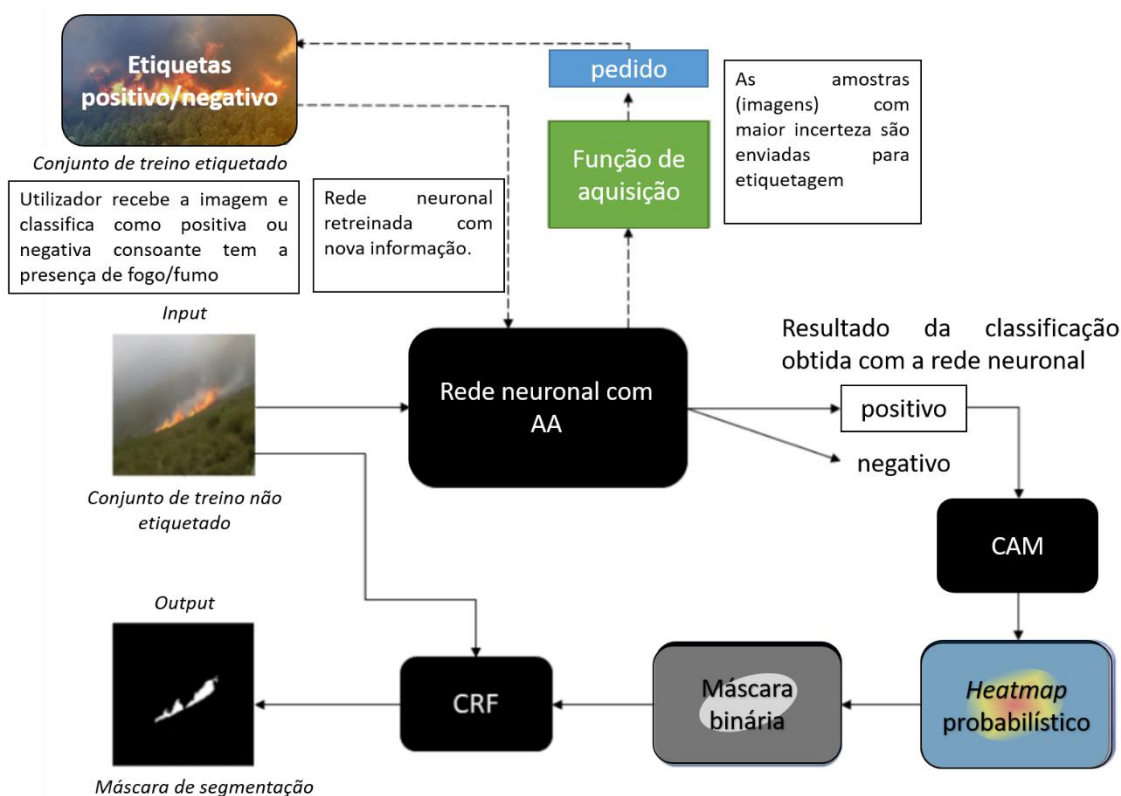


Fig. 1. Diagrama representativo das operações executadas na metodologia proposta.

algumas amostras não etiquetadas são enviadas para o utilizador etiquetar. A escolha destas amostras é feita com uma função de aquisição, mais concretamente a função *Minimal Margin* (Wang *et al.*, 2016), onde o método de recolha das amostras consiste na subtração da probabilidade das classes mais predominantes na figura, caso o valor dessa subtração seja muito baixo, significa que o modelo tem incertezas quanto à classificação dessa imagem, pelo que a mesma é escolhida para ser adicionada ao novo modelo para ser treinado na próxima ronda.

Para a segmentação, é utilizado *Class Activation Mapping (CAM)* para discriminar as regiões da imagem usadas pelo modelo para identificar a classe na figura, permitindo perceber que áreas são relevantes para a classificação da imagem. Para

primeira rede pré-treinada. Em cada ronda de aprendizagem, a rede neuronal com AA vai adquirir um conjunto de dados para o modelo ser novamente treinado. A escolha do conjunto de dados é feita através da função de aquisição, onde o modelo avalia os dados não etiquetados e escolhe os dados mais incertos para serem etiquetados (adicionados ao conjunto de dados a ser treinado na próxima ronda), sendo a rede neuronal treinada no novo conjunto de dados. Este processo é repetido parando em uma, de duas instâncias, caso o utilizador decida parar o treino do modelo (por resultados suficientemente satisfatórios) ou caso o modelo tenha sido treinado no conjunto de dados inteiros.

Após o treino do modelo, dependendo se a imagem em causa tem presente a classe pretendida, a mesma

passa para a fase de segmentação, onde esta é passada pelo CAM onde é formado um *Heatmap* probabilístico das regiões da imagem mais relevantes para a classificação. Após isso, é criada uma máscara binária do *Heatmap* Probabilístico. Por fim, a máscara binária passa pelo CRF onde é avaliada a informação providenciada pelo CAM juntamente com a informação contextual redundante da imagem e é produzida a máscara de segmentação final. Para a avaliação é utilizado o dataset apresentado na Tabela I.

Tabela I: Composição do “dataset” e respetiva repartição nas classes consideradas.

Nº Imagens	Classe	Subclasse	Porcentagem
1807	Fogo	Positivo	70
		Negativo	30
	Fumo	Positivo	70
		Negativo	30

#### 4. Resultados

Para avaliar o desempenho do mecanismo de aprendizagem ativa, foi realizada uma experiência para medir a influência do número de amostras iniciais usados para treinar o modelo e o desempenho que o modelo obteve no conjunto de dados para teste. Assim, a rede inicial é treinada em diferentes percentagens do conjunto de treino. São treinados modelos em 1%, 10%, 20%, 35%, 50%, 65% e 80% do conjunto total de treino. Após treinados os modelos, foi possível verificar (através da avaliação da exatidão, no fim de cada ronda de AA, no conjunto de teste), que o modelo convergia para o seu valor máximo de, aproximadamente, 97% e 89% no conjunto de fogo e no de fumo, repetitivamente, ao fim de 500 amostras e 700 amostras. Como tal, foi possível perceber-se que não existiam melhorias em aumentar indefinidamente o número de amostras. Foi, no entanto, possível perceber-se que fazendo recurso à AA, o modelo conseguia apresentar resultados elevados ao fim de poucas rondas de aprendizagem. No caso da Figura 2, relativa à aprendizagem do modelo no conjunto de dados de Fogo, é por exemplo, possível verificar-se que um modelo treinado com 1% dos dados iniciais, quando atinge 10% dos dados totais já apresenta uma precisão de aproximadamente 95%, enquanto um modelo treinado com 10% da totalidade dos dados, treinado sem aprendizagem ativa, tem uma precisão de aproximadamente 70%. A mesma analogia, pode ser feita, para o modelo treinado inicialmente com 20% dos dados e sem rondas de aprendizagem, que apresenta resultados piores que os modelos treinados com menos dados no modelo inicial, mas com rondas de aprendizagem ativa. Verificou-se que ao fim de 500 imagens (35% dos dados totais), o modelo não apresentava melhorias independentemente das rondas de aprendizagem ativas realizadas.

Para a Figura 3, relativa à aprendizagem do modelo no conjunto de dados de Fumo, de forma semelhante a aquilo que se verificou no parágrafo anterior, os modelos treinados com rondas de aprendizagem ativa, apresentam melhores resultados que aqueles com menos rondas de aprendizagem ativa (conjuntos de dados de treino do modelo inicial maiores). Para o caso do conjunto de dados de fumo, foi possível verificar-se que o mesmo deixa de apresentar melhorias para conjuntos de dados superiores a 700 imagens.

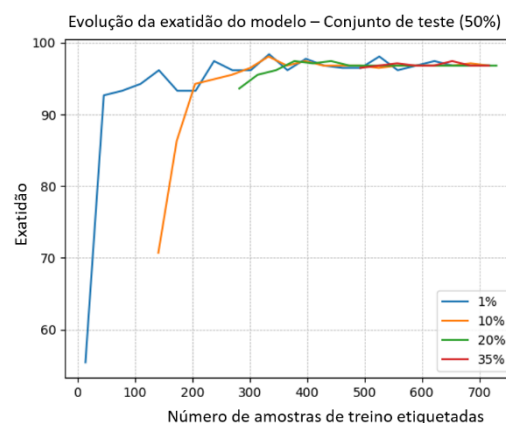


Fig. 2. Evolução da exatidão do modelo, utilizando diferentes números de amostras etiquetadas para iniciar o treino e avaliando num conjunto de teste que contém 60% de todas as amostras do conjunto de dados de Fogo.

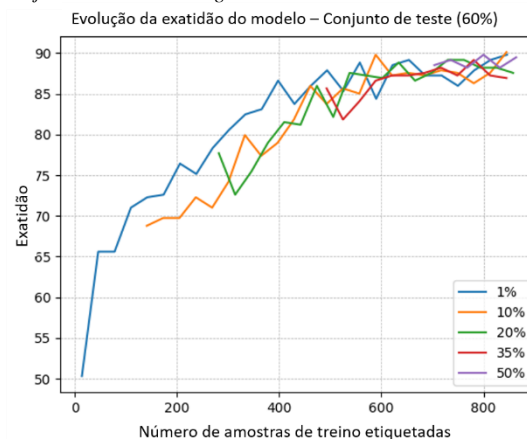


Fig. 3. Evolução da exatidão do modelo, utilizando diferentes números de amostras etiquetadas para iniciar o treino e avaliando num conjunto de teste que contém 50% de todas as amostras para o conjunto de dados de Fumo.

#### 5. Conclusões e trabalho futuro

Tendo em conta os resultados que foram obtidos na experiência com recurso ao método CEAL associado ao CAM e aos CRF, é possível concluir que a metodologia de AA consegue produzir modelos com elevado desempenho, diminuindo a quantidade de

dados para treino que é necessária. Adicionalmente foi possível confirmar-se a existência de uma dificuldade acrescida nos modelos de deteção do fumo (refletidos nos resultados de precisão obtidos para os dois modelos).

Em termos de trabalho futuro, em termos de classificação propõe-se a transição para *Residual Networks*, sendo estas parte do atual estado de arte em termos de redes de classificação. Em termos de segmentação, a implementação do modelo com recurso a *GRAD-CAM*, uma técnica mais recente, poderá ser implementada.

### Agradecimentos

Os autores agradecem aos elementos participantes no projeto FIREFRONT, pela disponibilização dos dados e metodologias que suportaram este trabalho.

### REFERÊNCIAS

- Instituto de Conservação da Natureza e Florestas (ICNF), “Incêndios rurais e área ardida - continente,” (2021). [Online]. Available: <https://www.pordata.pt/Portugal/Inc%c3%aandios+rurais+e+%c3%a1rea+ardida+%e2%80%93+Continente-1192-9576>
- Lenczner, G., Chan-Hon-Tong, A., Saux, B. L., Luminari, N. e Besnerais, G. L., “Dial: Deep interactive and active learning for semantic segmentation in remote sensing,”. (2022). [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2201.01047>
- Turco, M., Jerez, S., Augusto, S., Tarin-Carrasco, P., Ratola, N., Jiménez-Guerrero, P., Trigo, R., Climate drivers of the 2017 devastating fires in Portugal. (2019). *Sci Rep* **9**, 13886. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50281-2>
- Wang, K., Zhang, D., Li, Y., Zhang, R. and Lin, L., (2016). Cost-effective active learning for deep image classification. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 27(12), pp.2591-2600.
- Wehner, M. F., Arnold, J. R., Knutson, T., Kunkel, K. E. e LeGrande, A. N., Droughts, floods, and wildfires. (2017) *Global Change Research Program*, pp. 231–256.

# Apoio ao processo de tomada de decisão em condições de visibilidade reduzida com base na classificação dos tipos de nevoeiro

**Autores: P. M. P. Guerreiro (1) e P. M. M. Soares (2)**

(1) Centro de Investigação da Academia da Força Aérea. pmg Guerreiro@academiafa.edu.pt.

(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

**Resumo:** A visibilidade reduzida junto à superfície associada à ocorrência do nevoeiro constitui uma situação meteorológica disruptiva, na condução e execução das operações aéreas. A tomada de decisão em condições operacionais limite assume frequentemente uma postura defensiva, na expectativa da ocorrência de condições meteorológicas adversas que acabam por não se observarem. Este estudo pretende descrever a fenomenologia do nevoeiro com o objetivo de diferenciar o impacto operacional na ocorrência da visibilidade reduzida. Os dados meteorológicos de 17 aeroportos europeus foram analisados segundo uma abordagem climatológica das ocorrências do nevoeiro. Através de um algoritmo de classificação foram identificados cinco tipos de nevoeiro. Os eventos associados a cada tipo de nevoeiro foram caracterizados em função da intensidade e da persistência. A duração típica do nevoeiro é convertida num coeficiente de ajustamento que traduz a robustez das condições restritivas.

**Palavras-chave:** Missão, impacto, visibilidade, nevoeiro, classificação.

## 1. INTRODUÇÃO

A redução da visibilidade horizontal à superfície constitui um fator meteorológico de grande impacto no planeamento, na condução e na execução de operações militares. O sucesso das operações militares depende, assim, de uma informação precisa das condições do cenário de batalha, nos ambientes aéreo, terrestre e marítimo. A visibilidade reduzida associada à ocorrência de nevoeiro, resultante de processos radiativos e mecanismos microfísicos complexos, constitui um grande desafio à previsão meteorológica operacional. A Organização Meteorológica Mundial (OMM, 2017, p.477) define o nevoeiro como a redução da visibilidade horizontal para menos de 1 km, perto da superfície da Terra, devido às gotículas de água em suspensão na atmosfera. Apesar da simplicidade da sua definição, o fenómeno encerra muitos processos físicos diferentes e em diferentes escalas, sendo, por isso, um fenómeno meteorológico difícil de descrever e de prever, no contexto operacional. A precisão da previsão baseia-se no melhor conhecimento das situações atmosféricas que favorecem a formação do nevoeiro. Por isso, é essencial desenvolver uma metodologia que seja capaz de descrever diferentes cenários atmosféricos, nomeadamente os mais restritivos às operações aéreas. O presente estudo tem como objetivo propor um método complementar de avaliação do impacto de missão em condições de visibilidade reduzida, associadas à ocorrência do nevoeiro. A abrangência do estudo encontra-se caracterizada na secção 2, assim como a metodologia

proposta. Os resultados e discussão são apresentados na secção 3 e as conclusões na secção 4.

## 2. DADOS E METODOLOGIA

Observações de longo prazo de diferentes locais permitem caracterizar as características do pré-condicionamento e a ocorrência de nevoeiro. As ocorrências do nevoeiro foram analisadas ao longo de 17 anos a partir de observações meteorológicas (METAR) horárias de dez aeroportos europeus. Nos aeroportos internacionais de Portugal (Porto, Lisboa e Faro), Espanha (Barajas), França (Paris: Charles de Gaulle e Orly), Alemanha (Berlim), Holanda (Amsterdão), Suíça (Zurique) e Grécia (Salónica), os constrangimentos associados à ocorrência do nevoeiro são avaliados do ponto de vista do impacto da missão. Na presença de condições meteorológicas adversas, as operações aéreas como o reconhecimento, o transporte aéreo, o apoio aéreo próximo e as operações de helicóptero são afetadas por tetos baixos, seguidos da deterioração da visibilidade horizontal devido à formação de nevoeiro (NATO, 2020, p. P-1-1).

Os valores da temperatura, da temperatura do ponto de orvalho, da velocidade e da direção vento e do tempo presente significativo, observados na formação e durante a ocorrência do nevoeiro permitiram identificar alguns mecanismos precursores. O algoritmo representado na Fig. 1, adaptado a partir do método de classificação dos tipos de nevoeiro proposto por Tardif e Rasmussen (2006) e aplicado por Guerreiro et al (2020) no estudo sobre a climatologia do nevoeiro nos aeroportos de Porto,

Lisboa e Faro, é utilizado para classificar os tipos de nevoeiro quanto aos mecanismos primários associados à precipitação (PREC), altura da base das nuvens (CBL), radiação (RAD), advecção (ADV) e evaporação (EVP). A não correspondência a nenhum tipo de nevoeiro, o evento de nevoeiro é identificado como tipo desconhecido (UNK).

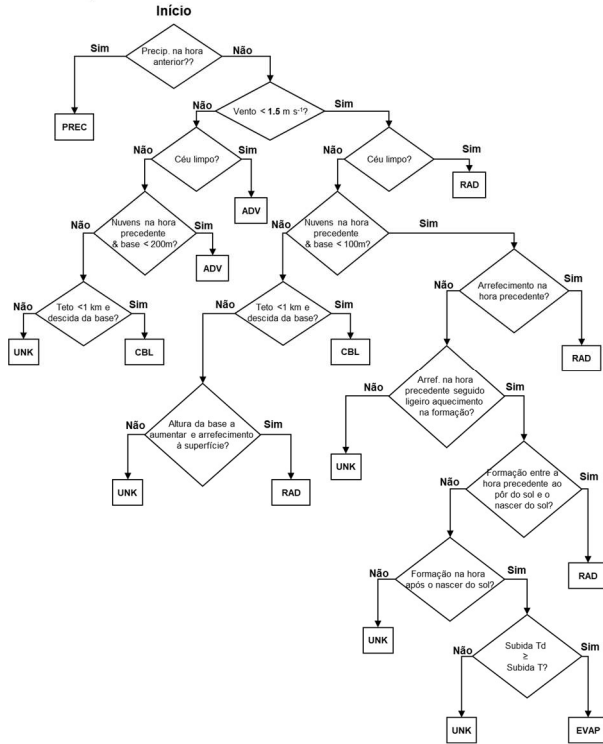


Fig 1. Algoritmo de classificação dos tipos de nevoeiro

Devido à definição fenomenológica do nevoeiro, a sua ocorrência constitui um constrangimento operacional evidente, sendo, no entanto, a sua duração um fator de incerteza no processo de tomada de decisão. A climatologia local do nevoeiro permite estabelecer uma relação entre o tipo de nevoeiro a sua duração típica. Assim, é proposto um fator de ponderação local em função da duração de cada tipo de nevoeiro, segundo a ordenação ascendente dos valores típicos da visibilidade mínima e igual ao valor mais próximo da fração 0,5, de cada unidade numérica. Por exemplo, se a duração típica dos eventos de dois tipos de nevoeiro for 2,3 e 2,7 horas, ambos terão o coeficiente 2,5. Os coeficientes de ajustamento são, por sua vez, divididos em três níveis de persistência. As condições pouco persistentes variam entre 1 e 2, moderadamente persistentes entre 2,5 e 3,5, muito persistentes entre 4 e 5 e as condições extremamente persistentes para coeficientes superiores a 6.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Climatologia do nevoeiro

O método de classificação permite identificar mais de 90% dos eventos de nevoeiro em nove aeroportos e

85% no aeroporto de Zurique, e calcular a distribuição das suas ocorrências segundo cinco tipos de nevoeiro. Conforme apresentado na fig. 2, entre os tipos de nevoeiro, a descida da base de nuvens é o mais comum, com uma percentagem de frequência entre 45% e 85% dos eventos. O segundo tipo mais frequente é o nevoeiro de advecção, a par do tipo de radiação, no aeroporto de Madrid. Em Salónica, a frequência do nevoeiro de radiação é ligeiramente superior ao nevoeiro de advecção. No entanto, em Zurique, 15% dos eventos são do tipo desconhecido. O nevoeiro de evaporação não foi detetado em nenhum dos aeroportos.



Fig. 2. Frequência relativa (%) da ocorrência dos tipos de nevoeiro no período 2005-2021.

Os eventos de cada tipo de nevoeiro são caracterizados quanto à intensidade e persistência. A intensidade do evento é expressa pela média da visibilidade horizontal mínima e a persistência pela duração do fenómeno, entre a formação e a dissipação. A fig. 3 mostra que os eventos associados ao nevoeiro de radiação, nos aeroportos de Paris, Zurique, Porto, Lisboa e Faro, foram os mais intensos. A média da visibilidade mínima é ligeiramente superior a 300 metros em Paris e Zurique e em Portugal foram observados os valores extremo de 211 metros em Lisboa e 488 metros no Porto. Nos aeroportos de Berlim e de Madrid os mecanismos de formação do nevoeiro mais intenso, que foram identificados, estão associados à descida da base das nuvens e ao arrefecimento radiativo, com valores de um pouco superiores a 3550 metros. O nevoeiro de advecção é o tipo de evento mais intenso observado no aeroporto de Salónica, com um valor média da visibilidade mínima de 225 metros.



Fig. 3. Média da visibilidade horizontal mínima expressa em metros.

No que diz respeito à duração média do evento, a fig. 4 mostra que o nevoeiro de radiação nos aeroportos do Porto, de Lisboa, de Faro e de Zurique está associado a os eventos mais duradouros. Nesta tipologia, o nevoeiro persiste durante 3,5 horas no Porto e em Faro, prolongando-se até às 4,6 horas em Lisboa e 5,4 horas em Zurique. As ocorrências de nevoeiro associadas à descida da base das nuvens são as mais persistentes nos aeroportos de Berlin e de Amsterdão, com a duração de 3,4 e 3,7 horas respetivamente. Nos aeroportos de Madrid, de Paris e de Salónica, mecanismos não identificados pelo algoritmo de classificação são responsáveis pela ocorrência de eventos mais duradouros, apesar de ser o tipo de nevoeiro menos frequente. Apesar de raros, a duração dos eventos de nevoeiro em Paris e em Salónica é de 5,4 e de 6,1 horas e em Madrid é de 3,8 horas.



Fig. 4. Duração média (horas) dos tipos de nevoeiro, no período 2005-2021.

### 3.2 Coeficientes de ajustamento do impacto de missão

Os coeficientes de ajustamento da avaliação do impacto de missão apresentados na tabela I dependem da duração média das ocorrências do nevoeiro e traduzem a persistência das condições restritivas impostas pelos valores locais da visibilidade horizontal mínima. A persistência do nevoeiro é tipicamente moderada, na maioria dos aeroportos. Os

eventos de nevoeiro do tipo PREC apresentam uma persistência baixa em todos os aeroportos, verificando-se a ausência de ocorrências de nevoeiro deste tipo em Faro. Os eventos do tipo RAD e UNK são mais duradouros e as restrições associadas têm uma persistência elevada com uma abrangência espacial significativa. Devido a fenómenos locais não identificados pelo algoritmo de classificação, o tipo UNK apresenta uma persistência extrema.

Tabela I. Coeficientes e níveis de persistência das condições restritivas associadas à ocorrência de cada tipo de nevoeiro.

	PREC	ADV	CBL	RAD	UNK
Porto	2	1,5	2,5	4	2
Lisboa	1	3	3	4,5	1
Faro	n.a.	2	1,5	3,5	2,5
Madrid	1,5	1	3	2,5	4
Paris	2	3,5	3,5	4	5,5
Amsterdão	2	2,5	3,5	2	3
Berlin	2	3,5	3,5	2,5	3
Zurique	1,5	2	4	5,5	5
Salónica	1	5,5	2,5	2,5	6

Legenda: baixa  moderada  elevada  extrema

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados revelam pormenores importantes da fenomenologia do nevoeiro nos diferentes aeroportos. Os tipos de nevoeiro identificados a partir dos mecanismos pré-condicionantes da formação do nevoeiro permite definir o domínio temporal do fenómeno. Desta forma, o impacto de missão é avaliado não só em função do limite operacional da visibilidade horizontal, como também da sua persistência. No processo de tomada de decisão, a persistência do evento de nevoeiro constitui, assim, um fator adicional na avaliação das condições desfavoráveis associadas à visibilidade horizontal reduzida. A identificação do tipo de nevoeiro associado a uma situação meteorológica restritiva permite otimizar o ciclo de tomada de decisão durante a condução e a execução das operações aéreas.

O impacto da visibilidade reduzida associada à ocorrência do nevoeiro constitui uma condição restritiva momentânea nas operações aéreas. A identificação dos mecanismos primários associados à formação do nevoeiro permite complementar a informação de apoio ao processo de tomada de decisão através da avaliação de fatores adicionais inerentes às principais características dos mecanismos primários associados à formação do nevoeiro.

A tabela I mostra que o nevoeiro do tipo RAD apresenta um fator acrescido no impacto de missão, por estar associado a ocorrências de elevada persistência, nos aeroportos de Porto, Lisboa, Paris e Zurique. Por outro lado, o nevoeiro do tipo UNK é igualmente persistente em Paris e Zurique, para além de Madrid, sendo extremamente persistente em

Salónica. A incapacidade de identificar outros mecanismos da formação do nevoeiro constitui um desafio para melhorar o algoritmo de classificação. No entanto, a metodologia atual apresenta uma grande vantagem por permitir identificar diferentes cenários promotores da formação do nevoeiro, alguns dos quais com impacto muito significativo.

## REFERÊNCIAS

- Guerreiro, P.M.P.; Soares, P.M.M.; Cardoso, R.M.; Ramos A.M. (2020). An Analysis of Fog in the Mainland Portuguese International Airports. *Atmosphere, Volume 11, Issue 11*, 1239. doi:10.3390/atmos11111239
- North Atlantic Treaty Organization. (2020). Meteorological and Oceanographic Services for Allied Command Operations – AD 080-034. Brussels: NATO Office of Information Press.
- Tardif, R.; Rasmussen, R.M. (2007). Event-based climatology and typology of fog in the New York City region. *J. Appl. Meteorol. Climatol*, 46, 1141–1168, doi:10.1175/JAM2516.1.
- World Meteorological Organization. (2017). WMO Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation; WMO: Geneva, Switzerland, 2017; Available online: [www.wmo.int](http://www.wmo.int) (accessed on 3rd March 2020).

## Unmanned Ground Vehicles – State of the art

**Autores:** A. Machado (1,2), P. Pinheiro (1,3), L. Quinto (1), S. Moreira (2), A. Moutinho (4)

- (1) CINAMIL, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa. machado.ajsc@exercito.pt
- (2) Unidade de Apoio Geral de Material do Exército, Benavente.
- (3) Regimento de Manutenção, Entroncamento.
- (4) IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.

**Abstract:** The rapid development of technology today provides a lot of new solutions for old problems. Therefore, it is imperative to mention the possibility of Unmanned Ground Vehicles as one part of the solution.

This paper presents a number of different options available on the market as well as relevant technology associated with Unmanned Ground Vehicles that is being developed in order to satisfy the considerable set of military requirements defined for this subject. Several market solutions are presented and different examples of the technologies currently in use are also highlighted.

Robotics and autonomous systems will have a significant impact on the battlefield. For that, it is vital to prepare the leaders of today to this reality. Unmanned ground vehicles are a path of no return.

**Keywords:** autonomous system, unmanned ground vehicle, artificial intelligence, x-by-wire, Defence.

### 1. INTRODUCTION

In recent years society has witnessed an impressive race for emerging and disruptive technologies (EDT), such as advanced robotics, artificial intelligence, computer power, and communications that enabled militaries to develop and utilize different-sized Unmanned Ground Vehicles (UGVs) to support a variety of combat and support missions (European Defence Agency, 2022; GlobalData, 2022). The changing nature of warfare and constant technological advancement have promoted in the Defence area the interest in developing and using UGVs, aiming to reduce human exposure to dangerous contexts while contributing to the increase of robustness, sustainability and resilience of military land forces (GlobalData, 2022; NATO S&T, 2022).

UGVs should have customisable models capable of supporting military tactics in combat, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR), Logistics, and Explosives and Mine Disposal situations. However, the modular format of the UGVs may also have a reliable application in civilian missions, in support of increasingly frequent natural disasters, in search and rescue missions, and in the fight against the fires that have ravaged Portugal and several other countries in Europe (Prišmantaitė, 2019; GlobalData, 2022).

Such capabilities have motivated countries such as the USA, India, China, Israel as well as the European Union to invest large amounts of resources to develop UGVs, and NATO to reference UGVs as one of the

key technologies by 2035 (GlobalData, 2022; NATO Science & Technology Organization, 2020).

### 2. STATE OF THE ART

Research in UGVs is very vast due to their broad functions and applications, but also due to the great evolution they have undergone in recent years. However, definitions are beginning to be agreed in order to establish baselines for developments.

#### 2.1. Classification

SAE J3016 - Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles - defines six levels of driving automation (Senatore & Scanion, 2018):

Level 0 - No Automation - the driver is responsible for all driving, and only receives momentary warnings or assistance;

Level 1- Driver assistance - The driver is responsible for driving, but has some assistance from the vehicle, such as braking/acceleration (e.g., adaptive cruise control);

Level 2 - Partial Automation - The driver must always maintain supervision of driving, although the vehicle has combined autonomous features like acceleration and steering (e.g., Tesla's Autopilot technology operates in level 2);

Level 3 - Conditional automation - The vehicle can perform autonomous driving, but the driver must be ready to take control when necessary;

Level 4 - High automation - The vehicle can perform autonomous driving in any condition, but has the possibility to be taken over by the driver (e.g., Google's self-driving car project Waymo operates at Level 4 autonomy);

Level 5 - Full automation - The vehicle is completely autonomous in any situation, and the driver is not required.

### 2.1. Existing solutions

The amount of UGVs under development is high, so for this analysis some of the UGVs with the most potential were considered.

#### THeMIS

THeMIS (Fig. 1) is a platform with 1630 kg designed to be transporter by a helicopter, being capable of reaching 20 km/h, with a pulling capacity of 15 000 N and a load capacity of up to 1200 kg. It is powered by a Diesel engine and an electric generator and is equipped with LIDAR sensors and IR, Thermal and HDR cameras.



Figure 1- THeMIS by Milrem Robotics (Milrem Robotics, 2022)

In the autonomy segment, it is equipped with the Milrem Intelligent Function Integration Kit (MIFIK) that includes 2D and 3D LiDAR mapping and neural networks, remote control and follow me mode, return home and track functions, planning and route navigation and AES 256 encryption. THeMIS has so far been acquired by 16 countries, including the United States, United Kingdom, Spain, Italy, Netherlands, Germany, Australia, and Ukraine (Milrem Robotics, 2022).

#### HDT Hunter Wolf

HDT's Hunter Wolf (Figure 2) is a 6x6 rig weighing 1600 kg capable of achieving 32 km/h with a payload of up to 1000 kg, and capable of travelling up to 320 km on hybrid diesel/JP8 and electric power. There are currently 20 units delivered to the United States (HDT Global, 2022).



Figure 2 - Hunter Wolf by HDT Global (HDT Global, 2022).

#### Viking

Viking's 6x6 platform (Figure 3) was designed with a modular purpose, allowing various configurations, while navigation and control can be done via remote control or in semi-autonomous mode with little human intervention through the use of artificial intelligence, a low-bandwidth communication system, and command and control systems (Viking Multirole Unmanned Ground Vehicle (UGV), UK, 2022).



Figure 3 - Viking by HDG Global (Viking Multirole Unmanned Ground Vehicle (UGV), UK, 2022).

#### Mission Master XT

Mission Master XT (Figure 4) is a modular platform available in three configurations developed by Rheinmetall Canada, with a weight of 2217 kg, and the power to carry 1000 kg, a range of 750 km and a maximum speed of 40 km/h. Autonomous drive and navigation is guaranteed by the Rheinmetall PATH, a proven autonomy kit, which contains LiDAR sensors, complemented with RADAR sensors and cameras, together with an artificial intelligence system, capable of image recognition and classification, sensor fusion and data association, simultaneous localization and mapping, obstacle detection and avoidance, target classification and tracking, among other capabilities. Rheinmetall PATH allows to transform any X-by-wire platform into an autonomous vehicle (Rheinmetall, 2022).



Figure 4 - Mission Master XT by Rheinmetall (Rheinmetall, 2022).

## 2.2. Engineering design aspects

The technology associated to UGVs can be divided into some systems, and three of the most important ones are platform, sensors and artificial intelligence (AI) system (Zahradníček, Rak, Hrdinka, Nohel, & Rýznar, 2021).

### Platform

In recent years, there has been a major evolution in X-by-wire technology (Figure 5). This enables a significant increase in chassis performance in terms of mobility. The platform comprises three X-by-wire subsystems: steering-by-wire, braking-by-wire and driving-by-wire. The replacement of mechanical subsystems with electronic ones allows the integration of sensors and AI systems for a much more precise control of the vehicle dynamics, and a reduction of weight and volume (Ni, Hu, & Xiang, 2018).

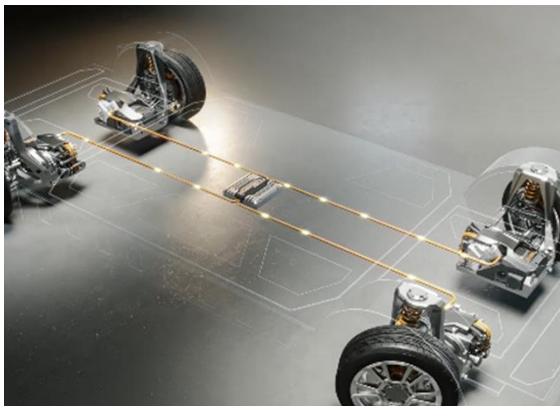


Figure 5 - X-by-wire platform by REE (REE, n.d.).

Driving-by-wire and steering-by-wire allow for a completely variable steering ratio depending on the driving situation, unlike the fixed steering ratios used by the mechanical linkages between the steering wheel and the front wheels (Neemann, n.d.). Driving-by-wire also allows more efficient control of the electric motors (Hafez, Maged, & Abdelaziz, 2020).

### Sensors

Data collection is the premise for the next phases of the UGVs operation. To achieve a good data

collection, it is necessary to have adequate sensors capable of collecting all the necessary information. LiDAR (light detection and ranging), SONAR (sound navigation and ranging), and RADAR (radio detection and ranging), ultrasonic, monocular camera, thermal camera and polarized camera are the most common sensors (Hu, et al., 2020). LIDAR, RADAR, SONAR and ultrasonic can measure the distance to an object and allow to create a real-time 3D map of the environment, which is useful information for obstacle detection while cameras are fundamental to understand the surrounding environment (Vargas, Alsweiss, Toker, Razdan Rahul, & Santos, 2021). Due to sensor limits, redundancy and complementarity of sensors is required, which implies cross-referencing information from different sensors (Hu, et al., 2020). Asynchronous multi-sensor-based data fusion methods have attracted considerable attention for harsh environments, but the capability of operation is not enough to deal with multiple asynchronous heterogeneous real-time sensors (Hu, et al., 2020).

### AI System

Advances in AI systems today allow us to get closer to unmanned and autonomous vehicles. The AI systems use the data collected by sensors as inputs for decision making. There has been an insistence on the use of AI systems in order to obtain a fully autonomous vehicle using various methods, such as fuzzy logic, reinforcement learning, artificial neural networks, deep learning, support vector machine (SVM), Monte Carlo method, among others (Tawiah, 2020). From the use of one or more of these methods, it is possible to obtain a higher level of automation. These techniques allow for greater efficiency in completing tasks such as optimising iterations, controlling platform dynamics, detecting obstacles and predicting movements (Mishra & Das, 2019).

## 3. CONCLUSIONS

In the military context, there is an impressive race for Robotics and Autonomous Systems. These are seen as disruptive technologies on the battlefield. Alignment between Academia, Defence and Industry is critical both for the development of the technology and to prepare commanders for its employment in combat in the near future. Unmanned ground vehicles are a path of no return.

## REFERENCES

- Army Technology. (2022, october 12). *Milrem Robotics to provide RAS CD&E services to the Italian Army*. Retrieved from <https://www.army->

- technology.com/news/milrem-provides-ras-cde-services-italy/
- European Defence Agency. (2022). *Combat Unmanned Ground System - CUGS (8EDA-B PRJ RT 1064)*.
- European Defence Fund - Dunding & tender opportunities. (2021). *Future modular ground vehicles and enabling technologies, including green technologies*. Retrieved october 10, 2022, from European Comission: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/edf-2021-ground-d-fmgv>
- European Defence Fund - Dunding & tender opportunities. (2021). *Unmanned ground vehicle technologies*. Retrieved october 10, 2022, from European Comission: <https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/portal/screen/opportunities/topic-details/edf-2021-ground-d-ugvt>
- GlobalData. (2022). *Military Unmanned Ground Vehicle (UGV) Market Size and Trend Analysis including Segments (Combat UGV, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) UGV, Logistics UGV, Explosives and Mine Disposal UGV), Key rogramas, competitive Landscape and Forec.*
- Hafez, H., Maged, S., & Abdelaziz, M. (2020). Modular design of X-by-wire systems to facilitate autonomous platform development. *The 8th International Conference on Control, Mechatronics and Automation*.
- HDT Global. (2022). *HDT Hunter Wolf - The highly maneuverable, endlessly adaptable unmanned vehicle*.
- Hu, J.-w., Zheng, B.-y., Wang, C., Zhao, C.-h., Hou, X.-l., Pan, Q., & Xu, Z. (2020). A survey on multi-sensor fusion based obstacle detection for intelligent ground vehicles in off-road environments.
- Lindholm, V., Kovordanyi, R., Saleh, D., & Bengtsson, K. (2021). *Unmanned Ground Vehicles in Urban Military Operations - A case study exploring what the potential end users want*. Linköping: Linköping University.
- Milrem Robotics. (2022, october 2022). *The THEMIS UGV*. Retrieved from <https://milremrobotics.com/defence/>
- Mishra, S., & Das, S. (2019). A Review on Vision Based Control of Autonomous Vehicles Using Artificial Intelligence Techniques. *2019 International Conference on Information Technology (ICIT)*.
- NATO S&T. (2022). *2022 Collaborative programme of work*.
- NATO Science & Technology Organization. (2020). *Science & Technology Trends 2020-2040 - Exploring the S&T Edge*.
- Neemann, A. (n.d.). *X-by-wire: When the Eletronics Take Sole Control*. Retrieved october 10, 2022, from ZF Friedrichshafen AG: [https://www.zf.com/mobile/en/technologies/domains/vehicle\\_motion\\_control/stories/x-by-wire.html](https://www.zf.com/mobile/en/technologies/domains/vehicle_motion_control/stories/x-by-wire.html)
- Ni, J., Hu, J., & Xiang, C. (2018). *Design and Advanced Robust Chassis Dynamics Control for X-by-Wire Unmanned Ground Vehicle*. Waterloo: University of Waterloo.
- Prišmantaitė, K. (2019). *Research and innovation in the development of unmanned ground vehicles: the european union and the baltic states*.
- REE. (n.d.). *REE Technology*. Retrieved october 10, 2022, from <https://ree.auto/technology/>
- Rheinmetall. (2022). *The Rheinmetall Mission Master Family - A Pioneering Line of Autonomous Unmanned Ground Vehicles*.
- Senatore, C., & Scanion, J. (2018). The Role of Infrastructure in an Automated Vehicle Future. *ResearchGate*.
- Tawiah, T. A.-Q. (2020). A review of algorithms and techniques for image-based recognition and inference in mobile robotic systems. *International journal of advanced robotic systems*.
- Vargas, J., Alswiss, S., Toker, O., Razdan Rahul, & Santos, J. (2021). An Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions. *Viking Multirole Unmanned Ground Vehicle (UGV), UK*. (2022, october 12). Retrieved from <https://www.army-technology.com/projects/viking-multirole-unmanned-ground-vehicle-ugv-uk/#:~:text=Viking%20is%20a%20%C3%97,provider%20based%20in%20the%20UK>.
- Zahradníček, P., Rak, L., Hrdinka, J., Nohel, J., & Rýznar, B. (2021). Combat unmanned ground vehicles: Perspectives for implementation into operational application. *International Scientific Journal "Security & Future"*.

## Projétil de artilharia em materiais poliméricos para combater fogos florestais

M. Oliveira (1), C. Macedo (2), E. Pinto (1), J. Borges (2), H. Gouveia (2), L. Faria (4) e R. Simoes (3,5)

- (1) Forma 3D – Plásticos e Montagens, Lda., 4760-706 Ribeirão, Vila Nova de Famalicão, Portugal
- (2) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203, Lisboa, Portugal.
- (3) Instituto Politécnico do Cávado e do Ave (IPCA), 4750-810 Barcelos, Portugal
- (4) Instituto Superior Técnico (IST), Campus Alameda, 1049-001 Lisboa, Portugal
- (5) Instituto de Polímeros e Compósitos (IPC/I3N), Departamento de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães, Portugal

**Resumo:** Os fogos florestais consomem milhares de hectares do território nacional. Tendo em conta o flagelo dos incêndios florestais, ao longo dos últimos tempos, foram desenvolvidas várias tecnologias que ajudam ao combate a fogos florestais. Dos quais, destacam-se os meios complementares aéreos de combate a fogos, em particular, os projéteis balísticos. De forma a contornar as desvantagens destas tecnologias foram desenvolvidas novas soluções de combate a fogos, nomeadamente, os projéteis balísticos em plástico. Este é composto por uma estrutura em plástico oca preenchida por um agente extintor. Esta solução balística em plástico é arremessada por uma peça de artilharia de 105 mm em direção ao foco do incêndio. A sua estrutura em plástico transporta o agente extintor e liberta-o no foco do incêndio. De modo a desenvolver a solução balística em materiais plásticos de combate a fogos foram realizados ensaios no programa PRODAS e no terreno para conhecer o seu desempenho.

**Palavras-chave:** Fogos Florestais, Ensaios de tiro, PRODAS, Projéteis Balísticos, 105 mm.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos meses quentes, os fogos florestais consomem milhares de hectares do território nacional (San-Miguel-Ayanz *et al*, 2022a). As características do fogo, que pode ter origens muito diferentes, exigem a tomada de algumas considerações e precauções para o combater de forma eficaz. Atualmente, existem diversos meios de combate a fogos, como, por exemplo, os meios terrestres e os meios aéreos. Estes são selecionados de acordo com as características do fogo, assim como, as características da meteorologia (San-Miguel-Ayanz *et al*, 2022b). Na maioria dos casos, os meios terrestres são utilizados na primeira intervenção de combate ao incêndio florestal. No entanto, em terrenos com elevações e depressões em grande número, os meios aéreos são chamados para combater os fogos florestais. Estes veículos (como, por exemplo, os helicópteros) são utilizados para auxiliar ou substituir os meios terrestres no combate ao incêndio nestas condições. Em geral, estes meios são responsáveis por transportar milhares de litros de água e por os libertar no foco do incêndio. A intervenção destes meios aéreos depende das características do fogo (como, por exemplo, do fumo) e das características meteorológicas (tais como, a chuva e o vento) (San-Miguel-Ayanz *et al*, 2018). Em condições desfavoráveis a sua intervenção pode ser comprometida e, por isso, de forma a solucionar este problema de combate a fogos, nos últimos anos, foram desenvolvidas novas soluções para combater

os fogos florestais, como, por exemplo, os meios complementares de combate terrestre ou aéreo, dos quais, destacam-se os meios complementares aéreos de combate a fogos, em particular, os projéteis balísticos. Os projéteis balísticos são um meio complementar aéreo de combate a fogos utilizado pelos recursos humanos de uma unidade de combate a fogos florestais. Os projéteis balísticos, por definição, são arremessados por uma arma de fogo em direção ao foco do incêndio. Atualmente, são utilizados os projéteis balísticos metálicos, no entanto, esta solução apresenta algumas desvantagens, tais como, o impacto ecológico devido à degradação dos fragmentos metálicos e, conseqüente libertação de produtos que se infiltram e contaminam os solos; o impacto económico devido ao custo de aquisição das matérias-primas e de transformação das mesmas, assim como, devido ao custo de produção das peças dos projéteis balísticos metálicos. E, por último, a utilização destes projéteis balísticos metálicos compromete a extinção do incêndio por causa da criação de pontos de progressão do fogo devido ao impacto destes com o solo.

Tendo em conta o flagelo dos incêndios florestais, ao longo dos últimos tempos, foram desenvolvidas várias tecnologias que ajudam ao combate a fogos florestais. Neste contexto, insere-se os projéteis balísticos em plásticos de combate a fogos florestais. Estes são um meio complementar aéreo de combate a fogos. Esta solução balística em plástico é

arremessada por uma peça de artilharia de 105 mm em direção ao foco do incêndio. A sua estrutura em plástico transporta o agente extintor para impedir a progressão do incêndio e liberta-o (por ação de um mecanismo) no foco do incêndio (detonação mecânica)

Em geral, o custo unitário dos projéteis balísticos em plásticos é mais baixo do que o custo unitário dos projéteis balísticos atuais. Esta afirmação baseia-se no custo de aquisição e de transformação das matérias-primas e nos custos de produção das peças. Além disso, considerando as características dos materiais plásticos, o impacto ecológico do projétil balístico em plástico é menor do que o impacto ecológico do projétil balístico metálico. Por fim, o embate desta solução com o solo não compromete a extinção do incêndio.

De modo a conhecer o desempenho da solução balística em materiais plásticos de combate a fogos é fundamental caracterizar o comportamento destes materiais nos três ramos da balística; isto é, no primeiro, designado por balística interna, que estuda os movimentos dos projéteis no interior da arma de fogo, no segundo ramo, intitulado de balística externa, que estuda o movimento do projétil desde que este abandona a arma de fogo até ao momento imediatamente anterior ao impacto com o alvo. E, por último, na balística terminal que integra todos os aspetos dos eventos que ocorrem quando o projétil atinge o seu alvo (Carlucci & Jacobson, 2017). Neste contexto, foram desenvolvidos ensaios no programa PRODAS e no terreno.

## 2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 2.1. Projétil balístico em plástico

O projétil balístico em plástico é composto por uma estrutura em plástico oca preenchida com um agente extintor, como apresentado na Fig. 1.

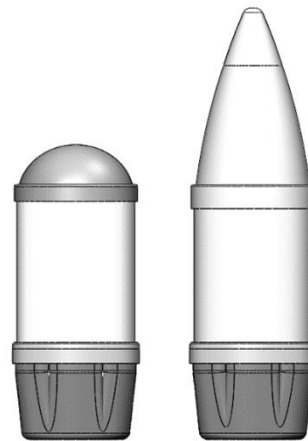
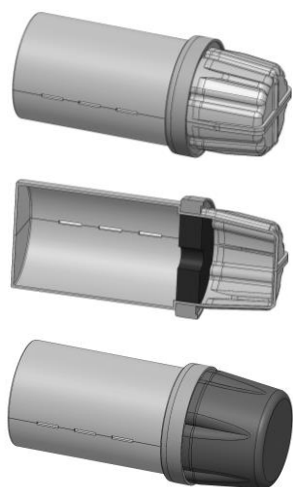


Fig. 1. Ilustração da estrutura em plásticos do projétil balístico (3D CAD Solidworks).

Esta solução balística é constituída por uma ogiva cónica ou semiesférica, um corpo oco composto por duas peças, uma cinta, um disco e uma base. As peças foram produzidas em materiais plásticos de engenharia e comuns selecionados e concebidos de acordo com os requisitos específicos de cada peça. Por fim, o agente extintor (componente líquido ou sólido) é introduzido no interior do corpo do projétil balístico.

### 2.2. Ensaios

#### 2.2.1. Ensaios no programa PRODAS do projétil balístico em plástico

O projétil balístico foi projetado e testado no programa PRODAS. Neste programa foram realizados diversos ensaios como, por exemplo, 1) estudo da estabilidade aerobalística das soluções (isto é, dos coeficientes e fatores aerobalísticos das soluções), 2) estudo da balística interna com o modelo de Baer-Frankle para conhecer o desempenho destas soluções no interior da arma de fogo e, por fim, 3) estudo da balística externa com o modelo 4-DOF para prever a trajetória da solução balística em plástico.

#### 2.2.2. Ensaios de tiro do projétil balístico em plástico

Os ensaios de tiro foram realizados no terreno do polígono de tiro do regimento de Artilharia N.º 5 em Vendas Novas em Évora com o obus de artilharia M107 A1. Este ensaio foi monitorizado por uma câmara de alta velocidade Photron FASTCAM mini AX50 responsável pela aquisição de imagens do momento em que o projétil abandona o obus e por uma estação tipográfica de GPS responsável pela localização dos projéteis balísticos em plástico.

Para este ensaio foram produzidos 6 projéteis balísticos em plástico, isto é, 1) Projétil balístico com 2000 g com cinta em PA6 e ogiva cónica, 2) Projétil balístico com 3500 g com cinta em PA6 e ogiva cónica, 3) Projétil balístico com 4500 g com cinta em PA6 e ogiva cónica, 4) Projétil balístico com 5000 g com cinta em PA6 e ogiva cónica, 5) Projétil balístico com 5000 g com cinta em PA6 e ogiva semiesférica,

6) Projétil balístico com 5000 g com cinta em PE e ogiva cônica (ver Tabela I).

Tabela I. Características dos projéteis balísticos com base nos resultados do programa PRODA (massa do projétil balístico, material da cinta do projétil balístico, e geometria da ogiva do projétil balístico).

Projétil balístico 1	2000 g	PA6	Cônica
Projétil balístico 2	3500 g	PA6	Cônica
Projétil balístico 3	4500 g	PA6	Cônica
Projétil balístico 4	5000 g	PA6	Cônica
Projétil balístico 5	5000 g	PE	Cônica
Projétil balístico 6	5000 g	PA6	Semiesférica

Em primeiro lugar, foi testada a geometria da ogiva da solução balística. Nestes testes foram comparadas a geometria semiesférica (ogiva 1) e a geometria cônica (ogiva 2). Em seguida, foi testado o material da cinta (isto é, a cinta em polietileno de alta densidade (PE) e a cinta em poliamida 6 (PA6)). Por fim, foi testada a massa da solução balística. Para tal foram produzidas soluções balísticas de 2000 g até 5000 g.

### 3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Esta secção apresenta os resultados do comportamento da solução balística em plástico obtidos no programa PRODAS e no terreno do polígono de tiro do RA N.º 5.

#### 3.2. Geometria da ogiva

As características da ogiva, como, por exemplo, a sua geometria, determinam o desempenho balísticos do projétil balístico. O comportamento balístico da solução de combate a fogos foi estudado no programa PRODAS. Neste estudo, foi testada a ogiva 1 (ogiva semiesférica) com 38 mm de comprimento e a ogiva 2 (ogiva cônica) com 168 mm de comprimento (ver Fig. 2.).

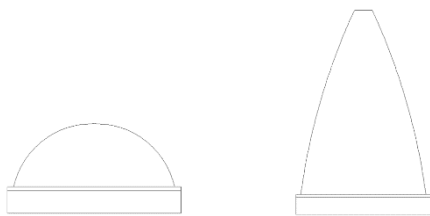


Fig. 2. Ilustração da ogiva O1 (semiesférica) (esquerda) e da ogiva O2 (cônica) (direita).

Este estudo mostrou que a geometria da ogiva do projétil balístico afeta os coeficientes (coeficiente balístico (CB)) e os fatores aerobalísticos (fator de estabilidade giroscópica ( $S_g$ )). Neste estudo verifica-se que os valores destes coeficientes e destes fatores aerobalísticos são superiores a 1. Estes valores variam com a geometria da ogiva; ou seja, os valores são

maiores com a geometria da ogiva 2 e, por isso, a estabilidade da trajetória deste projétil balístico é maior e, conseqüentemente, o seu alcance é maior. Conclui-se que o alcance da solução balística com a ogiva 2 aumenta 57,7 %.

A Fig. 3 apresenta o alcance do projétil de artilharia em materiais poliméricos com a ogiva 1 e 2.

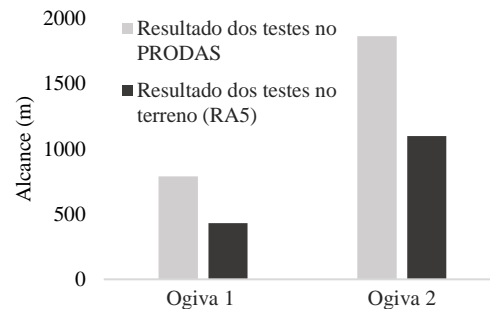


Fig. 3. Resultados dos ensaios experimentais do alcance do projétil balístico em plástico com ogiva 1 e com a ogiva 2.

Os resultados do ensaio de tiro mostram que as características físicas da ogiva alteram o desempenho da solução. O comprimento da ogiva da segunda proposta (ogiva 2) é maior do que o comprimento da primeira proposta (ogiva 1) e, por isso, verifica-se que esta geometria confere maior estabilidade à trajetória do projétil balístico e, por sua vez, o seu alcance é maior (isto é, o seu alcance aumenta 60,7 %).

#### 3.3. Material da cinta do projétil balístico

A Fig. 4 mostra o comportamento do material da cinta do projétil balístico em materiais plásticos.

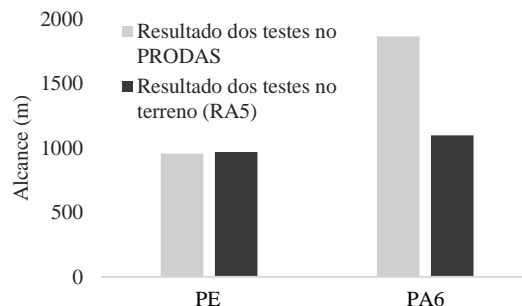


Fig. 4. Resultados dos ensaios experimentais do alcance da solução balística de combate a fogos com a cinta de polietileno de alta densidade (PE) e com a cinta de poliamida 6 (PA6).

Para estudar o desempenho dos materiais das peças do projétil balístico (em particular, da cinta do projétil balístico) foram produzidas cintas em polietileno de alta densidade (PE) e em poliamida 6 (PA6). Mais uma vez, em primeiro lugar, as duas soluções foram testadas no programa PRODAS. Tendo em conta as características dos plásticos de engenharia (em particular, as características da poliamida 6) face às características dos plásticos comuns (como, as características do polietileno de alta densidade), prevê-se que a solução em PA6 desempenhe melhor as suas funções na fase de balística interna. Estes resultados

demonstraram que o desempenho dos projéteis balísticos com a cinta em PA6 é melhor do que os projéteis balísticos com a cinta em PE, visto que, a sua pressão máxima, assim como a sua velocidade angular e linear aumentam, aproximadamente, 5,0 % e, conseqüentemente, o seu alcance aumenta 143,5 m.

Em segundo lugar, os projéteis balísticos foram testados no terreno. Os resultados mostraram que os materiais das peças do projétil balístico afetam o comportamento das mesmas. Os resultados do ensaio experimentais indicaram que o alcance dos projéteis balísticos com a cinta de poliamida 6 é maior do que o alcance dos projéteis balísticos com a cinta de polietileno de alta densidade (PE). As características da poliamida 6 permitem aumentar o alcance da solução balística de combate a fogos em, aproximadamente, 130,0 m. Além disso, as características dos rasgos produzidos pelas estrias da alma do obus nas cintas de PA6 assemelham-se às características dos rasgos produzidos pelas estrias da alma do obus nas cintas convencionais e, por isso, os resultados indicam que o desempenho desta solução balística no interior da alma do obus (fase de balística interna) é melhor do que o da solução balística com a cinta em PE. Estes resultados indicam que a cinta de poliamida 6 desempenha as suas principais funções na fase de balística interna.

### 3.1. Massa do projétil balístico

O comportamento balístico da solução de combate a fogos foi estudado no programa PRODAS. Este estudo mostrou que a massa e a distribuição da massa do projétil balístico afetam a estabilidade da trajetória destas soluções balísticas e, conseqüentemente, o alcance das mesmas; isto é, os valores dos fatores e dos coeficientes de estabilidade aerobalística aumentam e, por isso, a estabilidade da trajetória aumenta com o aumento da massa da solução e, conseqüentemente, o seu alcance aumenta. Este estudo indicou que o alcance máximo da solução com 5000 g foi de 1864,8 m. Adicionalmente, estes resultados mostram que o alcance do projétil balístico com 3500 g aumenta 36,4 %, o alcance da solução balística com 4500 g aumenta, 13,7 % e o alcance da última solução balística (5000 g) aumenta 10,0 % quando comparado com a solução anterior.

Em seguida, os projéteis balísticos foram produzidos e, depois, as soluções balísticas de combate a fogos com 2000 g, 3500 g, 4500 g e com 5000 g foram testadas no terreno. À semelhança dos resultados do programa PRODAS, os resultados do ensaio de tiro no terreno mostram que a massa dos projéteis balísticos afeta a estabilidade da trajetória da solução balística em plástico e, conseqüentemente, o alcance dos mesmos. Como mencionado anteriormente, a estabilidade de trajetória da solução balística aumenta com o aumento da sua massa.

A Fig. 5 mostra o comportamento da solução balística em plástico de combate a fogos com 2000 g, 3500 g, 4500 g e com 5000 g.

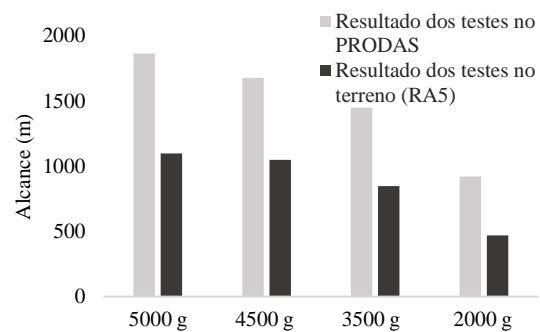


Fig. 5. Resultados dos ensaios experimentais do alcance do projétil balístico com 2000 g, 3500 g, 4500 g e com 5000 g.

No ensaio de tiro no terreno verificou-se que a estabilidade da trajetória dos projéteis balísticos com 5000 g é maior do que a estabilidade da trajetória dos restantes projéteis em plástico e, por isso, o alcance dos mesmos é maior. O alcance da solução balística com 5000 g é maior do que o alcance das restantes soluções em plástico; isto é, este é igual a 1098 m. Os resultados indicam que o alcance da solução balística com 3500 g (+ 1500 g do que a primeira solução balística) aumenta 44,7 %, o alcance da solução com 4500 g (+ 1000 g do que a segunda solução) aumenta 19,1 % e, por fim, o alcance da última solução (+ 500 g do que a solução anterior) aumenta 4,5 %. De modo geral, o valor do alcance das soluções balísticas obtido no terreno foi menor do que o valor do alcance das soluções balísticas obtido no programa PRODAS.

## CONCLUSÕES

De modo a conhecer o desempenho da solução balística em materiais plásticos de combate a fogos foram realizados ensaios no programa PRODAS e no terreno. Para estes ensaios foram definidos 6 projéteis balísticos em plástico para testar a geometria da ogiva da solução balística, o material da cinta e, por fim, a massa da solução balística. Os resultados indicaram que a massa do projétil balístico em plástico afeta a estabilidade da trajetória e, conseqüentemente, o alcance da solução balística e, por isso, conclui-se que a massa da solução balística de combate a fogos deverá ser superior a 4500 g. Além disso, verificou-se que a estabilidade da trajetória do projétil balístico com a ogiva 2 é maior do que a estabilidade da trajetória do projétil balístico com a ogiva 1 e, por sua vez, o seu alcance é também maior. Por fim, os resultados do ensaio de tiro indicaram que o alcance dos projéteis balísticos com a cinta de poliamida 6 é maior do que o alcance dos projéteis balísticos com a cinta de polietileno de alta densidade.

Conclui-se que a solução balística n.º 4 é a melhor solução, isto é, o projétil balístico com 5000 g com cinta em PA6 e ogiva cônica.

## REFERENCIAS

- San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Libertá, G., Artés-Vivancos, T., Oom, D., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Pfeiffer, H., Grecchi, R., Onida, M., Löffler, P. (2022a). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2021*, pp. 71-76; p.155
- San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Libertá, G., Artés-Vivancos, T., Oom, D., Branco, A., de Rigo, D., Ferrari, D., Pfeiffer, H., Grecchi, R., Nuijten, D. (2022b). Portugal. *Advance Report on Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2021*, p. 24
- Jesús San-Miguel-Ayanz, Hugo Costa, Daniele de Rigo, Giorgio Libertà, Tomàs Artés Vivancos, Tracy Durrant, Daniel Nuijten, Peter Löffler, Peter Moore et al. (2018). *Basic criteria to assess wildfire risk at the European level*, pp. 9-15
- Carlucci, D.E., & Jacobson, S.S. (2017). *Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22201>

# Solução de Revestimento Sacrificial com Espuma Mineral Frágil para Mitigação da Ação de Explosões: Estudo Experimental e Numérico

**Autores:** D. Braz (1), A. Aminou (2), D. Lecompte (3), B. Belkassem (4), M. Ben Rhouma (5)

- (1) Centro de Competências para Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. braz.da@exercito.pt
- (2) Department of Military and Protective Engineering. Royal Military Academy. Bélgica. aldjabar.aminoumalamkailou@mil.be
- (3) Department of Military and Protective Engineering. Royal Military Academy. Bélgica. david.lecompte@mil.be
- (4) Department of Military and Protective Engineering. Royal Military Academy. Bélgica. bachir.belkassem@hotmail.com
- (5) Department of Military and Protective Engineering. Royal Military Academy. Bélgica. medbenrhouma3013@gmail.com

**Resumo:** O uso de engenhos explosivos no campo de batalha e ataques terroristas é uma das maneiras mais eficazes de criar um maior número de baixas. Independentemente do alvo, estruturas ou veículos, é do interesse das forças militares em conflitos armados, mitigar os seus efeitos. Consequentemente, surge o objetivo deste trabalho: o estudo da eficácia de um revestimento sacrificial à base de espuma mineral frágil. Teoricamente, este é capaz de absorver alguma energia induzida por uma explosão numa estrutura e assim minimizar danos. A solução estudada neste trabalho, adota um núcleo com espuma mineral frágil. Este material é leve, incombustível, económico e com capacidade de absorção de energia. O desenvolvimento deste sistema e avaliação do seu comportamento submetido a uma explosão, foi realizado através de testes experimentais e modelos numéricos no *software* LS-Dyna. A solução de revestimento mostrou-se eficaz, contudo o seu sucesso depende não só do núcleo, mas da placa frontal adotada.

**Palavras-chave:** Mitigação de explosão; Revestimento sacrificial; Espuma mineral frágil; Modelação numérica.

## 1. INTRODUÇÃO

Estruturas militares como quartéis, viaturas de combate e edifícios civis de grande importância são os alvos mais comuns em ataques terroristas com recurso a engenhos explosivos. Além deles, as explosões podem ser originadas por eventos acidentais.

As soluções leves para proteção têm sido um alvo comum de investigação nos dias atuais (Aminou, 2020; Ousji & Berke, 2017).

Um revestimento sacrificial (RS) é composto por um núcleo entre duas camadas chamadas placa frontal e traseira (Fig. 1). A filosofia por trás do RS é atenuar as acelerações e os grandes danos resultantes de uma explosão, convertendo altas pressões num curto espaço de tempo para pressões baixas, (abaixo da força máxima da estrutura) em períodos de tempo mais longos (Ma & Ye, 2007). Neste estudo, o objetivo é realizar testes experimentais na espuma mineral, de modo a avaliar a sua capacidade de absorção da energia induzida por uma explosão. Com base nos resultados experimentais, um modelo numérico foi desenvolvido e validado.

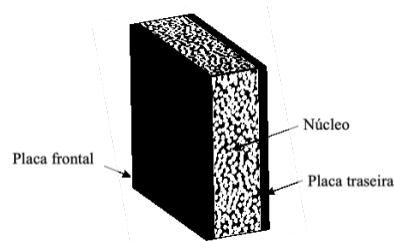


Fig. 1. Vista esquemática de uma camada de proteção

## 2. EXPLOSÃO E AÇÃO DE UMA EXPLOSÃO

A palavra "explosão" é geralmente usada para descrever eventos associados a um ruído alto e, à rutura súbita dos objetos no local da sua ocorrência e à sua volta (Ramamurthi, 2021), bem como uma rápida e súbita libertação de energia e produção de gás em grande escala (Ousji & Berke, 2017). Esta energia vem em forma de ondas de choque, calor, som e luz. Estas ondas podem propagar-se numa estrutura num curto espaço de tempo e levar ao seu colapso (Jasmine et al., 2022). À medida que a explosão se move para fora da fonte, a pressão do ar na frente da onda diminui. A variação da pressão é caracterizada por um aumento instantâneo da pressão atmosférica

ambiente ( $P_0$ ) até um pico de sobrepressão ( $P_{S0}$ ) (Fig. 2). O pico da sobrepressão incidente cai exponencialmente com o tempo, e regressa à pressão ambiente. Este intervalo de tempo corresponde à duração da fase positiva,  $t_0$ . Segue-se uma onda de pressão negativa com duração,  $t_0^-$ , aproximadamente 2 a 5 vezes maior que a da fase positiva (Goel, 2015).

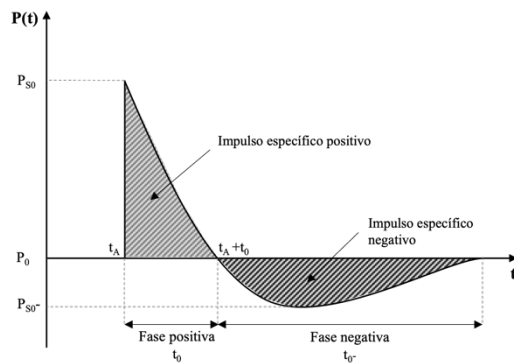


Fig. 2. Perfil pressão-tempo típico de uma explosão, adaptado de (Goel, 2015)

O perfil da onda de choque é descrito pela equação de *Friedlander*, que para a detonação aérea perfeita de uma carga esférica, é dado por (Goel, 2015):

$$P_s(t) = P_{S0} \left[ 1 - \frac{t}{t_0} \right] e^{-A \left( \frac{t}{t_0} \right)} \quad (2.1)$$

onde  $A$  é o coeficiente de decadência da onda.

### 3. ESPUMA MINERAL FRÁGIL

Na natureza é possível encontrar muitas matérias-primas compostas por estruturas celulares únicas, como madeira e coral. Esta propriedade intrínseca permite-lhes possuir uma densidade muito baixa e multifuncionalidade (Sun & Li, 2018). Os materiais celulares fabricados pelo homem, tais como espumas, têm características distintas que incluem uma excelente relação entre resistência/peso e a capacidade de sofrer grandes deformações sob uma carga quase constante (Tan et al., 2002).

A espuma mineral frágil estudada neste trabalho tem uma estrutura celular fechada e é composta por cal, areia, cimento e água. A mistura destes componentes é estabilizada sob a pressão de 12 bar e à temperatura de cerca de 190°C num aparelho de desinfeção (Jonet et al., 2019). A composição química em percentagem de massa da espuma mineral estudada é: 70-80% de silicato de cálcio hidratado, menos de 2% de quartzo, 15-20% de calcite e 3-8% de gesso e anidrita. Tem uma densidade de cerca de 110kg/m<sup>3</sup> e, uma vez que é fabricado em painéis leves, pode ser usado para aumentar a resistência de uma estrutura existente.

## 4. ESTUDO EXPERIMENTAL

### 4.1. Setup do teste

O principal objetivo deste trabalho é estudar os efeitos da espuma mineral na mitigação dos efeitos de uma explosão, em particular na deformação gerada numa estrutura. O *setup* da campanha de testes está esquematizado na Fig. 3.

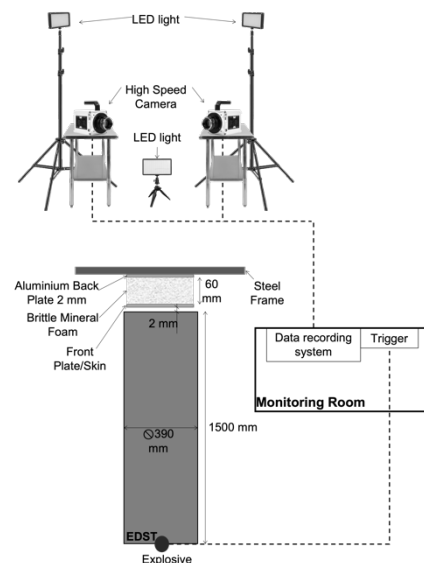


Fig. 3. Esquema global do setup utilizado nos testes experimentais

O *setup* é constituído por três grupos principais. Em primeiro lugar, dispomos de todos os elementos relativos ao próprio teste, em que existe a placa de controlo de alumínio (EN AW-1050-H24) (com e sem RS) fixa por uma moldura aparafusada (EN AW-7022), a estrutura de aço (EN AW-7022), a carga de explosivo, o detonador e o gatilho. Em segundo lugar, existem as câmaras de alta velocidade e as luzes LED. As câmaras estão sincronizadas para começarem a gravar simultaneamente. Por fim, existe um sistema de gravação onde um computador está equipado com um software de gravação de dados. Uma massa de 19,8g de C4 é preparada na entrada do *Explosive Driven Shock Tube* (EDST). Este equipamento consiste na utilização de um tubo para aumentar a carga proveniente de uma pequena carga explosiva, e gerar uma frente de onda planar (Louar et al., 2015). Ao premir o gatilho, a carga explosiva detona e, neste momento a gravação das imagens começa com a rutura de um fio elétrico fixo no explosivo. A placa de alumínio é pintada com um padrão de manchas na face virada para as câmaras. Torna-se assim, possível explorar as imagens capturadas pela Correlação de imagem digital (em inglês *Digital Image Correlation*, DIC). Isto permitirá calcular as deformações da placa de alumínio por contraste de cor. Nesta campanha de testes foram alvo seis configurações de RS distintas.

### 4.2. Resultados experimentais

A placa de alumínio deforma-se permanentemente em consequência da onda de choque da explosão, em que o deslocamento máximo ocorre no centro da placa. A evolução do deslocamento em função do

tempo e da placa/camada frontal é apresentada na Fig. 4. A medida que a onda de choque da explosão atinge o alvo, a placa de controlo de alumínio começa a deformar-se quase instantaneamente até atingir o valor máximo. Após alguma oscilação, estabiliza depois de alguns milissegundos até atingir o valor final do deslocamento, que corresponde à deformação plástica. Quando a espuma mineral é adicionada como RS, as oscilações diminuem de frequência, uma vez que a massa da espuma mineral determina a frequência que passará para a placa de alumínio.

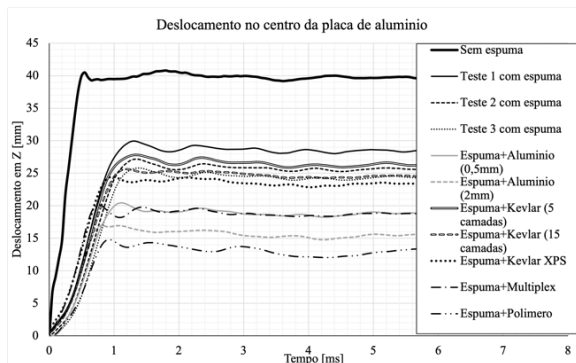


Fig. 4. Evolução do deslocamento da placa de controlo de alumínio para diferentes soluções de placa/camada frontal

Ao adicionar uma placa/camada frontal, o deslocamento máximo pode ser reduzido ainda mais. Esta visa proteger a espuma mineral e uniformizar a onda de choque, atuando como um pistão que esmaga o material do núcleo. A Tabela I mostra um resumo das configurações usadas e os resultados da campanha de testes, onde é possível concluir que o RS com a placa frontal de alumínio de 2 mm é a solução mais eficiente em geral. Apesar de não ser a solução mais leve mostra melhores resultados, em termos de redução do deslocamento máximo e relação espessura/massa.

Tabela I. Quadro resumo dos resultados obtidos na campanha

Espess. Espuma	Elemento Frontal			Desloc. Max. [mm]	Differ. Relat. [%]
	Material	Massa [g]	Espess.		
0	Nenhum	-	-	44.47	-
60	Nenhum	-	-	29.52	1.19
60	Alumínio	121.95	0.5 mm	25.25	43.22
60	Alumínio	487.80	2 mm	20.60	53.69
60	Kevlar	321.87	5 camadas	31.29	29.64
60	Kevlar	965.61	15 camadas	29.59	33.46
60	Kevlar XPS	64.37	1 camada	29.17	34.41
60	Multiplex	864	20 mm	24.89	44.03
60	Polímero (PMMA)	489.10	3.8 mm	17.12	61.51

## 5. ESTUDO NUMÉRICO

### 5.1. Modelo em elementos finitos

O custo geral numa campanha experimental é muito elevado. Além disso, a falta de controlo das condições ambientais, dos limites de horários, etc., pode levar à falha na obtenção de resultados. Por estas razões, é

vantajoso recorrer a modelos numéricos. A simulação é um produto de três fases: primeiro a definição da geometria, da malha, dos materiais e das condições iniciais e de fronteira; em segundo lugar os cálculos e, finalmente, o processamento dos resultados.

Dada a geometria simétrica do *setup* e para reduzir o tempo de cálculo, um quarto da geometria foi modelado (Fig. 5). O modelo criado nesta tese foi resolvido numa abordagem segundo Lagrange. Geralmente funciona bem para problemas quando as distorções dos elementos são moderadas e é vantajoso devido à sua eficiência e precisão de tempo. Todas as partes, com exceção da espuma são definidas com elementos finitos (EF) sólidos paralelepípedos com secção quadrada de 2mmx2mm (Atoui et al., 2019), com 1mm de espessura para a placa de controlo, 7,5 mm para a estrutura de aço e 3 para a moldura de fixação.

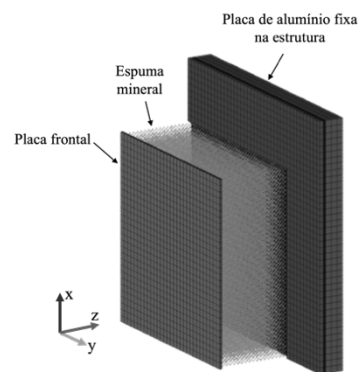


Fig. 5. Geometria do modelo

Para replicar com precisão a ligação entre a estrutura de aço, a moldura de fixação e a placa de alumínio foi utilizado o algoritmo CONTACT\_AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE\_TIEBREAK.

Aplicando OPTION=4 o deslizamento tangencial entre as três partes foi permitido.

A espuma mineral é modelada usando *Smoothed Particle Hydrodynamics* (SPH). O contacto entre os elementos EF e SPH é definido usando o algoritmo de contacto CONTACT\_AUTOMATIC\_NODES\_TO\_SURFACE, onde os elementos SPH foram definidos como escravos e os elementos finitos como mestres.

Tanto a estrutura de aço como a moldura de fixação não excedem o seu limite elástico. Por esta razão, ambos foram simplesmente modelados, utilizando uma lei constitutiva linear elástica através do material MAT\_ELASTIC. As placas de controlo e frontais superam a região elástica e sofrem deformação plástica. De modo a considerar, as propriedades da velocidade de deformação do alumínio, o material MAT\_MODIFIED\_JOHNSON\_COOK foi adotado, tendo este modelo sido validado por Louar et al. e Atoui et al. Em LS-Dyna, para os elementos SPH, a lei do material deve ser compatível. O software oferece uma lei baseada nas equações constitutivas para espumas, por Chang (1995), em que é possível inserir curvas de tensão-deformação de compressão quase estática, juntamente com as propriedades

mecânicas de modo a simular a espuma mineral frágil (LSTC, 2020).

A modelação da carga induzida pela onda de choque foi simulada usando uma formulação de Lagrange e uma curva de carga definida, a partir de dados experimentais.

### 5.2. Resultados numéricos

Os resultados dos modelos numéricos são apresentados na Fig. 6, bem como os experimentais. Ao comparar os valores obtidos nos modelos numéricos com os testes experimentais, existe um erro relativo entre 0,11 e 5,50%, o que significa que cada modelo foi validado.

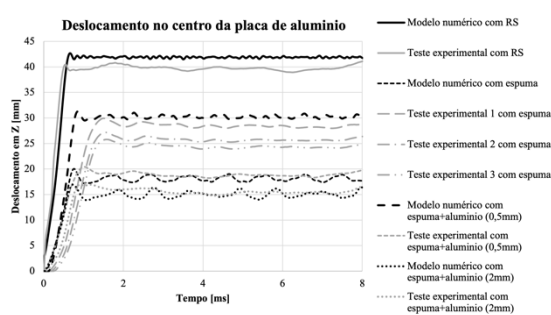


Fig. 6. Deslocamentos da placa de controlo de alumínio obtidos nos modelos numéricos e testes experimentais

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A espuma mineral frágil por si só garante uma redução significativa na deformação da placa de controlo, embora e como foi mencionado anteriormente, a fim de garantir uma distribuição uniforme da carga, a placa frontal é crucial. O que foi possível verificar nas diferentes soluções testadas foi que o alumínio (EN AW-1050-H24), como placa frontal, provou ser a melhor solução numa primeira abordagem a um RS com esta espuma, garantindo uma solução leve e compacta.

Por último, foi desenvolvido um modelo numérico em LS-Dyna para simular a configuração de teste utilizada para avaliar a capacidade RS. Este modelo baseava-se numa lei de espuma celular Fu Chang, de acordo com as curvas de tensão-deformação da espuma mineral. Os resultados dos modelos foram fortemente validados pelos resultados experimentais.

### Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio das pessoas que mais me são próximas. À minha família, amigos e camaradas o meu sincero agradecimento.

Agradeço em especial a toda equipa do *Department of Military and Protective Engineering* da *Royal Military Academy* na Bélgica, por toda a disponibilidade, empenho, preocupação, atenção e ajuda, que sempre demonstraram.

## REFERÊNCIAS

- Aminou, A. (2020). *Atténuation d'ondes d'explosion par mousse minérale: Étude expérimentale et numérique*. École Royal Militaire.
- Atoui, O., Maazoun, A., Belkassem, B., Jonet, A., Pyl, L., & Lecompte, D. (2019). Numerical Investigation Of Aluminium Plates Subjected To Blast Loading Using Arbitrary Lagrangian Eulerian and Lagrangian Approaches. *Silos Proceedings (13th Shock and Impact Loads on Structures 2019)*, 155–164.
- Goel, M. D. (2015). Blast: Characteristics, loading and computation—an overview. In *Advances in Structural Engineering: Mechanics, Volume One* (pp. 417–434). Springer India.
- Jasmine, G. V., Ponnada, M. R., & Mishra, S. P. (2022). *Blast Loads and Their Effects on Structures* (pp. 167–178).
- Jonet, A., Belkassem, B., Atoui, O., Pyl, L., Lecompte, D., Jonet, A., Belkassem, B., Atoui, O., Pyl, L., & Lecompte, D. (2019). *Blast Mitigation Using Brittle Foam Based Sacrificial Cladding: A Feasibility Study*.
- Louar, M. A., Belkassem, B., Ousji, H., Spranghers, K., Kakogiannis, D., Pyl, L., & Vantomme, J. (2015). Explosive driven shock tube loading of aluminium plates: Experimental study. *International Journal of Impact Engineering*, 86, 111–123.
- LSTC. (2020). *LS-DYNA® Keyword User's Manual Volume I Livermore Software Technology (LST), An Ansys Company*. www.lstc.com
- Ma, G. W., & Ye, Z. Q. (2007). Analysis of foam claddings for blast alleviation. *International Journal of Impact Engineering*, 34(1), 60–70.
- Ousji, H., & Berke, P. (2017). *Blast mitigation using crushable core systems: experimental, analytical and numerical study*.
- Ramamurthi, K. (2021). *Modeling Explosions and Blast Waves* (2nd Edition). Springer, ANE Books India.
- Sivaraman, S., & Varadharajan, S. (2021). Investigative consequence analysis: A case study research of beirut explosion accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 69.
- Sun, Y., & Li, Q. M. (2018). Dynamic compressive behaviour of cellular materials: A review of phenomenon, mechanism and modelling. In *International Journal of Impact Engineering* (Vol. 112, pp. 74–115). Elsevier Ltd.
- Tan, P. J., Harrigan, J. J., & Reid, S. R. (2002). Inertia effects in uniaxial dynamic compression of a closed cell aluminium alloy foam. *Materials Science and Technology*, 18(5), 480–488.

## Influência dos fatores antropométricos no dispêndio metabólico na marcha durante a utilização de um exosqueleto no tornozelo

J. Louro (1), L. Quinto (2,3) e P. Simões (2,4)

- (1) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. joalouro1@gmail.com
- (2) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar
- (3) Instituto de Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico
- (4) Centro de Matemática e Aplicações, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa

**Resumo:** O presente estudo tem como objetivo determinar a influência que os fatores antropométricos têm no dispêndio metabólico na marcha, durante a utilização de um exosqueleto passivo para atuação do tornozelo. Para tal, foram recolhidos dados de 29 participantes pertencentes ao Exército Português. O exosqueleto foi associado com 3 molas distintas com resistências diferentes com o objetivo de verificar se o tipo de mola, associado aos fatores antropométricos do portador do exosqueleto, teria um efeito significativo no dispêndio metabólico deste durante a realização do exercício. Recorrendo ao método de regressão linear múltipla e tabelas de correlação, os resultados indicaram quais os fatores antropométricos que mais influenciaram na variação dos resultados metabólicos. Adicionalmente, os resultados indicaram qual o tipo de mola que permitiu ao participante obter uma maior redução metabólica. Deste modo, a metodologia apresentada permitiu a identificação e seleção da mola mais apropriada para cada utilizador.

**Palavras-chave:** Exosqueleto passivo, Tornozelo, Dados antropométricos, Regressão Linear Múltipla, Militar.

### 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o interesse em sistemas que melhoram a performance humana tem aumentado devido à sua diversa aplicabilidade. Na área da defesa, o uso de exosqueletos pode facilitar a mobilidade do militar, reduzir o seu gasto metabólico assim como o risco de lesão (Collins *et al.*, 2015). Na área da reabilitação, os exosqueletos podem também ser um recurso, nomeadamente na restauração de um movimento motor de um indivíduo, como por exemplo a marcha. Adicionalmente, os exosqueletos podem ser aplicados na área da indústria, já que o seu uso pode diminuir o risco de lesão de um operário que efetue trabalhos físicos. No entanto, poucos estudos abordam a relação entre os fatores antropométricos de um portador de exosqueleto, com o seu dispêndio metabólico durante a marcha. Conhecer tal relação é relevante, visto que para tornar o sistema exosqueleto/utilizador o mais eficiente possível, é necessário identificar os parâmetros biométricos que mais influenciam o desempenho do portador (Pinheiro *et al.*, 2019). Assim, neste estudo foi investigada esta relação com um exosqueleto passivo de atuação no tornozelo com 3 tipos de molas: A-1, A-2 e F-1, visando estabelecer também uma ligação

entre o melhor resultado obtido (maior diminuição de gasto metabólico) com o tipo de mola utilizado.

#### 1.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Os testes foram efetuados em 29 militares pertencentes do Exército Português, no Laboratório de Biomecânica de Lisboa. De acordo com a metodologia de Pinheiro *et al.* (2019), cada indivíduo realizou um exercício de marcha durante 6 minutos numa passadeira, numa primeira fase sem exosqueleto no tornozelo. O dispêndio metabólico foi registado através da utilização de uma máscara facial e recorrendo ao método *Metabolic Equivalent Task* (MET). Posteriormente, foi colocado o exosqueleto passivo no tornozelo do participante, com base no trabalho de Collins *et al.* (2015), e este repetiu o exercício.



Fig. 1. Exosqueleto Passivo de tornozelo. Fonte: Ribeiro et al., 2021.

No total cada participante efetuou o exercício 4 vezes, uma vez sem exosqueleto e três vezes com o exosqueleto com um tipo de mola diferente (Fig. 2).




Mola	Peso	Dimensões	Representação
F-1	0.065 kg	φ20.0 × 97.0 mm	
A-1	0.015 kg	φ14.9 × 52.5 mm	
A-2	0.020 kg	φ14.1 × 65.5 mm	

Fig. 2. Tipos de molas associadas ao exosqueleto passivo de atuação no tornozelo. Fonte: Ribeiro et al., 2021.

Visando entender como os fatores antropométricos do portador do exosqueleto afetam a sua variação metabólica, foram recolhidos dados antropométricos dos participantes com base na metodologia desenvolvida por Norton (Norton, 2018). Este método consiste na recolha dos seguintes dados antropométricos: altura, comprimento da coxa, peso, comprimento da tibia, perímetro gemelar, distância do tornozelo ao calcanhar (lado anterior), distância do tornozelo ao solo (lados posterior e anterior), distância entre maléolos, comprimento do pé, cadência e velocidade de marcha aos 100 metros, comprimento do passo e distância percorrida no teste de Cooper. A análise estatística dos dados foi efectuada com recurso ao software R (R Core Team (2020), tendo sido feita uma análise exploratória em que foi comparada a variação metabólica com o tipo de mola utilizado na realização do exercício. Com o objetivo de encontrar uma relação entre as variáveis antropométricas e a maior diminuição metabólica (variável de interesse), recorrendo a técnicas de análise estatística multivariada, nomeadamente a construção e análise de matrizes de correlação linear, pelo coeficiente de correlação linear de Pearson/Spearman e através do ajustamento de

modelos de regressão linear simples e múltipla (Uyanik e Güler, 2015), considerando os dados antropométricos recolhidos e agrupados por tipo de mola.

## 1.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise exploratória efetuada revelou que 13 dos 29 participantes obtiveram a maior redução de gasto metabólico usando o exosqueleto com a mola A-1. Dez participantes obtiveram o melhor resultado com a mola A-2 e 6 com a mola F-1. Observando-se assim uma maior diminuição do gasto metabólico usando a mola A-1, **figura 3**.

Com vista a analisar se existem diferenças significativas entre os três tipos de molas, foi aplicado o teste de Kruskal Wallis (Ostertagová et al., 2014). O mesmo permitiu concluir que esta diferença revela-se ser significativa para um nível de significância,  $\alpha$ , superior a 0.06, sendo assim de considerar que os valores medianos da maior diminuição metabólica, em cada um dos grupos analisados, não se podem considerar semelhantes.



Fig. 3. Variação do custo metabólico por tipo de mola. Observa-se uma maior diminuição do valor metabólico com a mola A-1, em que a mediana é -0.015. Ou seja, houve uma diminuição metabólica de 0.015 % em comparação com a realização do exercício sem exosqueleto.

Para a elaboração das matrizes de correlação foram desconsiderados 4 indivíduos, pelo fato de não terem sido registados os seus valores antropométricos. Verificam-se, para as diferentes variáveis em estudo, correlações superiores a 60% (Tabela 1). Foram investigados diversos modelos de regressão linear múltipla por tipo de mola. Apenas o comprimento da tibia mostrou ser estatisticamente significativo, a nível de significância de 0.05 ( $P=0.02$ ) quando foi utilizado o exosqueleto com a mola F-1.

Destaca-se ainda que este fator antropométrico consegue explicar 94% da variação da taxa metabólica (*Multiple R-Squared*: 0.94). Apesar de ser comprovada a significância estatística, devido ao tamanho reduzido dos casos em estudo, uma das principais limitações ao estudo em curso, remetem-se as suas conclusões a nível amostral, não sendo

\*P (p value) é a probabilidade, sendo H0 verdade, de obter um valor da estatística de teste igual ou mais extremo que o observado.

possível de momento, a sua extrapolação para a população em geral.

Tabela 1. Coeficiente de Correlação linear de Spearman entre fatores antropométricos e a maior diminuição da taxa metabólica por tipo de mola. O comprimento da tibia apresentou uma correlação positiva de 94% quando a mola F-1 foi utilizada.

Fator antropométrico	Mola	Correlação positiva	Correlação negativa
Comprimento da coxa	A1	0,62	X
Nº passos 100metros		0,63	X
Nº passos 100metros		0,62	X
Distância tornozelo calcanhar	A2	X	0,68
Distância entre maléolos		X	0,65
Comprimento coxa		0,63	X
Distância tornozelo solo ant	F1	0,63	X
Comprimento tibia		X	0,94

Em seguida foram analisados apenas os dados dos participantes que experienciaram uma redução da taxa metabólica quando efetuaram o exercício com o exosqueleto (n=16). Apenas os testes efetuados com as molas A1 e A2 contribuem para este subconjunto de dados. Observando o diagrama de extremos e quartis (figura 4) verifica-se que a os melhores resultados são obtidos nos indivíduos que utilizam o exoesqueleto com a mola A-1.

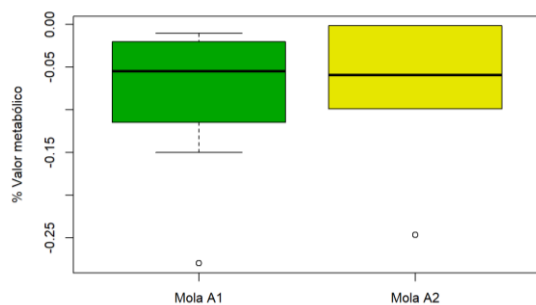


Fig. 4. Variação do custo metabólico na mola A-1 e A-2. Observa-se uma maior diminuição do valor metabólico com a mola A-1, em que a mediana é -0.055. Ou seja, houve uma diminuição metabólica de 0.055 % em comparação com a realização do exercício sem exosqueleto.

Ao explorar a aplicação do modelo de regressão linear múltipla para cada uma das molas (A-1 e A-2), constata-se que o número de passos a 100 metros mostrou ser um fator antropométrico significativo ( $P=0.02$ ) para explicar o melhor resultado obtido.

### 1.3. CONCLUSÃO

O estudo conclui que o exosqueleto com a mola A-1 proporciona a diminuição da atividade metabólica a um maior número de participantes. Adicionalmente, quanto maior é o comprimento da tibia do portador do exosqueleto com mola F-1, maior é o seu desgaste metabólico. Os resultados indicam ainda que o número de passos a 100 metros é uma métrica significativa para explicar a maior redução metabólica do operador, quando este utiliza o exosqueleto com a mola A-1 ou A-2. Deste modo, esta variável deverá ter sido em conta no desenvolvimento de exosqueletos futuros com um propósito semelhante. Estudos futuros deverão também considerar os potenciais efeitos de diferentes

superfícies e inclinações no desempenho metabólico em junção com os diferentes tipos de mola.

### Agradecimentos

A todos os militares que participarem neste projeto, à Academia Militar e ao Laboratório de Biomecânica de Lisboa, para o apoio e disponibilidade na recolha de dados antropométricos. Ao Estado-Maior do Exército que, através do CINAMIL, no âmbito do projeto de investigação ELITE2 – Enhancement LIT e Exoskeleton, apoiou nesta investigação.

Ao CEAUL por promover o Programa académico “Sê Investigador por três semanas!”

### REFERÊNCIAS

#### Artigos em revistas:

- R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- P. Pinheiro, L. Quinto, S. B. Gonçalves, and M. T. Silva. (2019). Analysis of the Performance of a Passive Ankle Exoskeleton for Reduction of the Metabolic Costs in Gait. p. 2
- Quinto, L.P., Pinheiro, P., Gonçalves, S.B., Roura, I.F., Silva, M.T. (2022). Analysis of a Passive Ankle Exoskeleton for the Reduction of the Metabolic Costs During walking—A Preliminary Study. In: Moreno, J.C., Masood, J., Schneider, U., Maufroy, C., Pons, J.L. (eds) Wearable Robotics: Challenges and Trends. WeRob 2020. Biosystems & Biorobotics, vol 27. Springer, Cham.
- G. K. Uyanık, N. Güler. (2013) A Study on Multiple Linear Regression Analysis, vol. 106. Elsevier.
- E. Ostertagová, O. Ostertag, J. Kovác. (2014) Methodology and Application of the kruskal-Wallis Test, vol. 611. Applied Mechanics and Materials
- Capítulos em livros:
- K.Norton. (2018). Standards for anthropometry assessment," in Kinanthropometry and Exercise Physiology, 4th ed., p. pp 68-137.
- S. H. Collins, M. B. Wiggin, and G. S. Sawicki.(2015). Reducing the energy cost of human walking using anunpowered exoskeleton, Nature, vol. 522, no. 7555, pp. 212–215.

\*P (p value) é a probabilidade, sendo H0 verdade, de obter um valor da estatística de teste igual ou mais extremo que o observado.

# Deteção Automática de Alvos Terrestres a partir de um UAV em Apoio a Operações Anfíbias

A. Batista Pinto (1), B. Damas (1,2), V. Borges Rodrigues (1) e N. Pessanha Santos (1)

- (1) Centro de Investigação Naval (CINAV) (Correspondência: [bruno.damas@escolanaval.pt](mailto:bruno.damas@escolanaval.pt))  
(2) Instituto de Sistemas e Robótica (ISR Lisboa)

**Resumo:** Nas últimas décadas o paradigma no que respeita à condução de operações militares tem-se alterado com a introdução de novas tecnologias. Os veículos aéreos não tripulados (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) trazem vantagem significativas para essas operações, desde o apoio direto no campo de batalha ao aumento do conhecimento situacional do terreno e do inimigo. Neste trabalho mostra-se como, a partir de uma câmara convencional integrada num UAV, é possível fazer a deteção automática de alvos terrestres militares e civis, em tempo real, usando uma rede neuronal de deteção de objetos. Para treinar essa rede procedeu-se à recolha de uma base de dados e à anotação das imagens respectivas, localizando todos os militares e civis presentes em cada imagem, procedendo-se depois ao treino da rede. A abordagem proposta foi validada de forma experimental, tendo o modelo final mostrado bons resultados e um grande potencial face ao conceito que se pretendia demonstrar neste trabalho.

**Palavras-chave:** Operações Militares, Reconhecimento, Aprendizagem Profunda, Redes Neurais Convolucionais, UAVs, Deteção Automática.

## 1. INTRODUÇÃO<sup>1</sup>

Ao longo do tempo, a partir das lições retiradas em cada conflito, tem-se procurado desenvolver capacidades militares e tecnológicas que conduzam a vantagens no terreno, o que por vezes resulta numa mudança de paradigma operacional. Os avanços tecnológicos significativos que se têm verificado recentemente nos veículos aéreos não tripulados (Unmanned Aerial Vehicles, UAVs) têm não só permitido a capacidade de apoiar directamente o campo de batalha, mas também a capacidade de aumentar o conhecimento situacional do terreno e do inimigo, das suas capacidades, ao sobrevoar o cenário de operações, atualizando e recolhendo a informação necessária para que o sucesso da operação seja alcançado (Glade, 2000). Essa capacidade de reconhecimento e obtenção de conhecimento situacional não coloca em causa a integridade física dos militares envolvidos e pode não só ser usada em operações terrestres conduzidas pelo Exército, mas também em apoio a operações anfíbias de desembarque de militares da Marinha. Estes UAVs conseguem recolher e transmitir imagens capturadas em tempo real para um operador; no entanto, a utilização destas novas tecnologias requer normalmente o empenhamento de dois operacionais, um deles dedicado em exclusivo à pilotagem do UAV e o outro à análise e interpretação das imagens assim adquiridas. Com vista a automatizar e agilizar este processo, criando um sistema de apoio à decisão e facilitando ao operador a sua tarefa, pretende-se neste trabalho estudar, aplicar e analisar técnicas de deteção automática de objectos a partir de imagens obtidas a

partir de câmaras RGB convencionais, com vista à deteção e localização em cada imagem de possíveis alvos militares e civis, para que o operador apenas necessite de validar os possíveis alvos automaticamente detectados por esse sistema. Na Figura 1 pode ser observado um exemplo de uma imagem onde a deteção de alvos militares é realizada automaticamente.

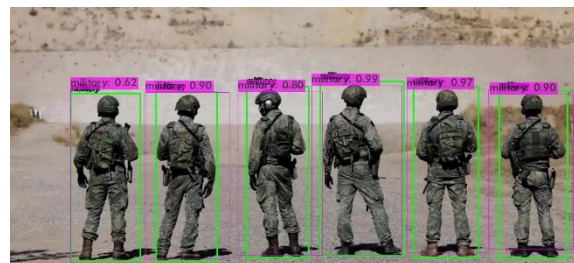


Fig. 1. Exemplo de deteção automática de militares numa imagem RGB.

Nos últimos anos o avanço científico no domínio das redes neurais profundas tem revolucionado vários domínios tecnológicos, como a análise e síntese de fala, a tradução automática de texto e o processamento automático de imagens, entre muitas outras aplicações. Em particular, o uso de redes baseadas em topologias convolucionais trouxe um aumento de desempenho significativo nas tarefas de classificação automática de imagens no que respeita à presença de determinadas classes de objectos (Krizhevsky, et al., 2017), tendo também sido desenvolvidas redes neurais específicas para a deteção – *i.e.*, para a localização na imagem de objectos de interesse, como por exemplo na Figura 1 – como também para a segmentação, ou seja, a

<sup>1</sup> O presente artigo não segue o novo acordo ortográfico.

classificação de imagens relativamente à presença de determinadas classes de objectos ao nível de cada pixel da imagem. Este género de redes tem vindo a ser usadas com bastante sucesso, por exemplo, em tarefas de detecção marítima, a partir de UAVs, de naufragos (Gonçalves & Damas, 2022) ou de embarcações (Pires, et al., 2022). É este tipo de redes neuronais profundas que se pretende usar neste trabalho para automaticamente detectar a presença de militares ou de civis em sequências de imagens obtidas a partir de um UAV, durante operações anfíbias conduzidas pela Marinha Portuguesa. Para tal, é necessário que a rede seja suficientemente rápida a realizar a detecção, para que a mesma possa ser realizada em tempo real usando *hardware* convencional que possa ser levado para o terreno durante as operações de reconhecimento, como por exemplo um simples computador portátil ou um sistema embebido apropriado para realizar tarefas de visão computacional<sup>2</sup>. O trabalho está, pois, organizado da seguinte forma: na secção 2 descreve-se o conjunto de dados adquirido para treinar a rede de detecção; na secção 3 é apresentada a rede neuronal usada e a metodologia de treino da mesma; na secção 4 são apresentados os resultados obtidos e na secção 5 retiram-se conclusões e apresenta-se algum possível trabalho futuro.

## 2. AQUISIÇÃO DE IMAGEM E DADOS DE TREINO

O treino de redes neuronais profundas, de raiz, implica tipicamente o ajuste de milhões de parâmetros numéricos, o que se faz recorrendo a conjuntos massivos de imagens que permitam a generalização correcta da rede assim treinada a outras imagens não apresentadas anteriormente a essa rede. Para tal, é essencial que a rede seja treinada com imagens variadas e que correspondam a situações semelhantes àquelas em que se pretende usar a rede de detecção.

Muitas redes de detecção são disponibilizadas em versões pré-treinadas, com parâmetros optimizados para a detecção de um determinado número de classes pré-definidas, geralmente associados a um determinado conjunto de treino como o *dataset* COCO, que contém 80 classes distintas e cerca de 328 mil imagens devidamente anotadas<sup>3</sup>. A utilização dessas redes neuronais pré-treinadas permite, por um lado, usar directamente a rede se as classes de objectos que se pretende detectar correspondem a classes para as quais a rede foi treinada. Por outro lado, mesmo que se pretenda detectar uma nova classe para a qual a rede não foi treinada, é geralmente muito mais eficiente proceder à readaptação dos parâmetros da rede pré-treinada para essa nova classe de objectos, sendo necessário, para o efeito, a

utilização de um conjunto de dados muito mais reduzido.



Fig. 2. Imagens de exemplo do dataset 1.



Fig. 3. Imagens de exemplo do dataset 2.

Apesar da generalidade das redes de detecção actuais conseguirem detectar a classe “Pessoa”, não existe nenhuma que faça a distinção entre militar e civil. Foi por isso reunir um conjunto de imagens, bem com realizar a respectiva anotação, de forma a conseguir fazer o treino considerando as classes “Civil” e “Militar”. Para isso considerou-se as seguintes fontes de imagens:

1. **Dataset 1:** Imagens de militares retiradas da Internet, num total de 181 imagens, contendo em média 5 objetos por imagem (Fig. 2);
2. **Dataset 2:** imagens de um cenário de treino dos fuzileiros portugueses na Lituânia, recolhidas por um drone Mavic Air 2 FLIR, contendo em média 12 objetos por imagem, num total de 40 minutos de vídeo (Fig. 3);
3. **Dataset 3:** imagens de cenários do exercício Tróia, realizado pelos cadetes da Escola Naval em 2021, recolhidas pelo drone DJI Mini 2, contendo em média 31 objetos por imagem, num total de 10 minutos de vídeo (Fig. 4);
4. **Dataset 4:** imagens de cenários do exercício Tróia, realizado pelos cadetes da Escola Naval em 2022, recolhidas por um drone DJI Air 2S, contendo em média 13 objetos por imagem, num total de 26 minutos de vídeo (Fig. 5);
5. **Dataset 5:** imagens de militares juntamente com civis retiradas da Internet, num total de 499

<sup>2</sup> <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-developer-kits>

<sup>3</sup> <https://cocodataset.org/>

imagens, contendo em média 7 objetos por imagem (Fig. 6);

- Dataset 6:** imagens de civis retiradas da Internet, num total de 52 imagens, contendo em média 2 objetos por imagem (Fig. 7).



Fig. 4. Imagens de exemplo do dataset 3.



Fig. 5. Imagens de exemplo do dataset 4.



Fig. 6. Imagens de exemplo do dataset 5.

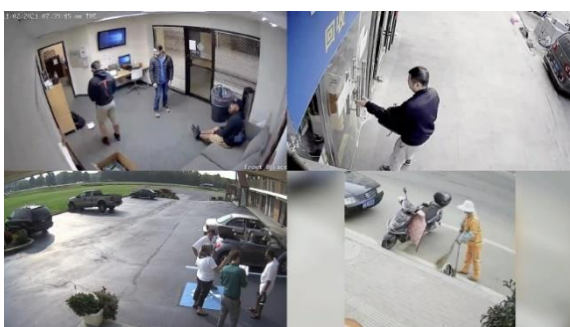


Fig. 7. Imagens de exemplo do dataset 6.

Para cada *dataset* foi manualmente um subconjunto de imagens, tendo-se alcançado no final um conjunto de treino contendo 3883 imagens anotadas e um conjunto de teste contendo 169 imagens anotadas, para posterior validação de resultados.

### 3. METODOLOGIA DE TREINO DA REDE

Actualmente muitas redes neuronais competem para obter os melhores resultados ao nível da detecção de objectos. Entre estas, podem-se destacar as redes de duas etapas como a Faster R-CNN (Ren, et al., 2015) ou as de apenas uma etapa como a RetinaNet (Lin, et al., 2017), SSD (Liu, et al., 2016) ou YOLO (Redmon, et al., 2016). As de duas etapas apresentam geralmente um desempenho superior no que diz respeito à capacidade de detecção mas, por outro lado, exigem recursos computacionais significativamente mais elevados.

De entre as redes de uma etapa, a versão 4 da rede YOLO (Bochkovskiy, et al., 2020) apresenta um elevado desempenho ao nível da detecção enquanto, ao mesmo tempo, mantém um tempo de inferência suficientemente baixo. Em particular, uma versão mais reduzida dessa rede com apenas 38 camadas, a YOLOv4-tiny, consegue correr em tempo real sobre *hardware* com capacidade computacional reduzida, alcançando por exemplo uma capacidade de inferência de 20fps numa placa Jetson Nano, um pequeno computador para sistemas embebidos especialmente desenhado para tarefas relacionadas com visão e processamento de imagem. Por estas razões, foi escolhida esta rede como base para este trabalho, numa versão pré-treinada com o *dataset* COCO.

O treino foi realizado usando o conjunto de treino recolhido para o efeito, descrito na secção anterior, e recorrendo ao alargamento automático do conjunto de treino que a rede YOLO v4 possibilita (*data augmentation*) e foi estudada a influência de vários hiper-parâmetros da rede, como por exemplo o *batch size*, de forma a tentar obter o melhor desempenho da mesma.

### 4. RESULTADOS

Para avaliar o desempenho da rede neuronal treinada de acordo com o procedimento apresentado na secção anterior foram adquiridas duas novas sequências de vídeos, distintas daquelas que foram usadas para reunir imagens para o treino da rede. As gravações dessas sequências foram realizadas a partir de um drone DJI Air 2S, de uma perspectiva potencialmente semelhante à que seria obtida numa operação de reconhecimento real, contendo tanto militares como civis presentes em cada sequência. Foi usado um limiar de detecção de 0.5 em ambas as experiências, tendo em conta o estudo feito anteriormente para a obtenção dos melhores parâmetros de detecção da rede. A primeira sequência de vídeo foi capturada na parada da Escola Naval e continha dois militares e um civil caminhando e cruzando-se no seu percurso. A segunda sequência de vídeo foi obtida num campo de futebol, também na Escola Naval, e continha um militar e um civil, simulando a ameaça deste último por parte do militar. Na Figura 8 apresentam-se algumas imagens correspondentes a cada uma dessas situações.



Fig. 8. Esquerda: vídeo capturado na parada da EN. Direita: simulação de captura de um civil por parte de um militar armado.

De uma forma geral os resultados foram muito positivos, podendo-se verificar que a rede neuronal assim treinada consegue detectar convenientemente militares e civis nas imagens, distinguindo bem as duas classes. A exceção, na primeira experiência, é o oficial trajando de branco que por vezes é confundido com um civil, o que é perfeitamente natural tendo em conta que o treino da rede foi feito maioritariamente com imagens de militares envergando camuflado. A outra exceção respeita à segunda situação, onde por vezes a rede toma um civil por militar quando este se ajoelha no relvado. O resultado da detecção na primeira experiência pode ser visualizado num vídeo publicamente disponibilizado<sup>4</sup> e na Figura 9. Da mesma forma, a validação experimental correspondente à segunda experiência pode ser consultada também num vídeo público<sup>5</sup> e na Figura 10. Apesar do possível *overfit* aos dados de treino, apresenta-se também, com fins ilustrativos, os resultados de detecção num dos vídeos correspondentes a um dos *datasets* com os quais a rede foi treinada<sup>6</sup>.



Fig. 9. Exemplo de detecção num vídeo capturado na parada da Escola Naval.

## 5. CONCLUSÕES

Os desenvolvimentos recentes na detecção usando redes neuronais profundas possibilitam a integração desse género de detectores nas operações de reconhecimento conduzidas no decurso de operações anfíbias e terrestres, servindo como uma útil ferramenta de apoio à decisão que permite identificar possíveis alvos, de forma automática e em tempo real,

a partir das imagens adquiridas por UAVs de baixa dimensão. Apesar de realizado com um conjunto de treino limitado, este trabalho faz a prova deste conceito de operação. Como trabalho futuro pretende-se recolher mais imagens para treino da rede e usar técnicas de filtragem temporal como etapa de pós-processamento (e.g., *Multi-Object Trackers*).

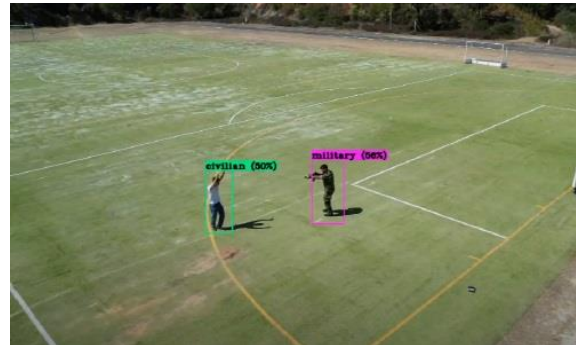


Fig. 10. Exemplo de detecção num vídeo capturado no campo de futebol da Escola Naval.

## Agradecimentos

Este trabalho foi suportado pelo projecto nacional VoaMais (02/SAICT/2017/31172).

## REFERÊNCIAS

- Glade, D., 2000. Unmanned aerial vehicles: Implications for military operations. Alabama, USA: Center for Strategy and Technology, Air War College, Air University.
- Gonçalves, L. & Damas, B., 2022. Automatic detection of rescue targets in maritime search and rescue missions using UAVs. Dubrovnik, Croácia, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS).
- Krizhevsky, A., Sutskever, I. & Hinton, G. E., 2017. Imagenet classification with deep convolutional neural networks. s.l., s.n., pp. 84-90.
- Lin, T.-Y. et al., 2017. Focal Loss for Dense Object Detection. s.l., IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. 2980-2988.
- Liu, W. et al., 2016. SSD: Single Shot MultiBox Detector. s.l., s.n.
- Pires, C., Damas, B. & Bernardino, A., 2022. An Efficient Cascaded Model for Ship Segmentation in Aerial Images. IEEE Access, pp. 31942 - 31954.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R. & Farhadi, A., 2016. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. s.l., s.n.
- Ren, S., He, K., Girshick, R. & Sun, J., 2015. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. s.l., s.n.

<sup>4</sup> [https://www.youtube.com/watch?v=83y4fg\\_8DMY](https://www.youtube.com/watch?v=83y4fg_8DMY)

<sup>5</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=9DI29q62ikM>

<sup>6</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=MyirYyZ0FbQ>

# Vigilância síndrômica em tempo-quase-real em contexto operacional: vantagens e limitações

S. Sousa (1)

(1) Divisão de Saúde Militar do Ministério da Defesa Nacional.

[silvia.sousa@defesa.pt](mailto:silvia.sousa@defesa.pt)

**Resumo:** O significativo e crescente envolvimento de contingentes militares portugueses no estrangeiro reforça a importância da implementação de sistemas de vigilância epidemiológica que permitam a rápida deteção e monitorização da propagação de doenças suscetíveis de constituir risco para a saúde dos efetivos militares e, conseqüentemente, comprometer a capacidade operacional das Forças Armadas portuguesas. Tendo por base esta realidade, o presente artigo propõe uma breve revisão da literatura no âmbito da aplicabilidade dos sistemas de vigilância síndrômica em tempo-quase-real, procurando identificar as principais vantagens e limitações da sua implementação em contexto operacional. Os resultados obtidos evidenciam como principais vantagens a deteção e alerta precoce, bem como o aumento da consciência situacional face a potenciais surtos de doenças infecciosas de origem natural, acidental ou intencional. A necessidade destes sistemas serem coadjuvados com sistemas de vigilância epidemiológica clássicos e as elevadas exigências relacionadas com a segurança da informação assumem-se com as suas principais limitações.

**Palavras-chave:** Forças Nacionais Destacadas, Sistemas de vigilância epidemiológica; Vigilância síndrômica em tempo-quase-real.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 90 do século XX que Portugal tem envolvido de forma crescente contingentes militares no estrangeiro, designadamente, no âmbito das missões da Organização das Nações Unidas, da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e da União Europeia.

Neste contexto, atualmente Portugal mantém em diversos Teatros Operacionais (TO), sendo que a participação mais significativa, do ponto de vista dos efetivos, ocorre no quadro da *United Nations Multinational Integrated Stabilization Mission*, na República Centro-Africana.

Esta conjuntura, de crescente envolvimento dos contingentes militares portugueses e elevada complexidade do contexto epidemiológico dos diversos TO de projeção das Forças Nacionais Destacadas (FND), reforça a importância da implementação de sistemas de vigilância epidemiológica que permitam uma atempada deteção e a monitorização da propagação de doenças suscetíveis de constituir risco para a saúde dos efetivos empenhados e, conseqüentemente, comprometer a capacidade operacional das Forças Armadas (FFAA) portuguesas.

Tendo em conta esta realidade, o presente artigo propõe uma breve análise dos sistemas de Vigilância Síndrômica (VS), procurando identificar as principais vantagens e limitações decorrentes da implementação desta tipologia de sistemas de

vigilância epidemiológica em tempo-quase-real em contexto operacional.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Vigilância epidemiológica

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a vigilância epidemiológica pode ser entendida como “um processo contínuo e sistemático de recolha, análise e interpretação de dados da saúde contribuindo para a descrição e monitorização de um evento em saúde, tendo em vista o planeamento, implementação e avaliação de intervenções e programas de saúde pública.” (OMS, 2021).

Neste sentido, através do permanente alerta em relação à frequência e distribuição das doenças infecciosas e dos fatores ou condições que propiciam o aumento do risco de transmissão das mesmas, a vigilância epidemiológica constitui-se como um sistema de informação, decisão e ação que permite planejar, recomendar e avaliar medidas de prevenção e controlo. (DGS, 2016).

De acordo com o Regulamento Sanitário Internacional, a vigilância epidemiológica assume ainda especial importância na monitorização de doenças de rápida propagação, doenças de elevada transmissibilidade, doenças que apresentam uma letalidade inesperadamente alta, doenças em que não existe de tratamento eficaz ou com conhecida resistência a fármacos antimicrobianos, e doenças

com elevado potencial de imposição de restrições comerciais. (MNE, 2008).

De tipologia passiva ou ativa, a vigilância epidemiológica permite, na prática, identificar os indivíduos (casos) de um grupo (população) que apresentam um estado mórbido (infecção, doença ou alteração do estado de saúde) de acordo com critérios clínicos, epidemiológicos e laboratoriais pré-definidos. (Fronteira, 2019).

No âmbito da vigilância epidemiológica passiva a informação integrada e analisada tem origem em notificações clínicas ou laboratoriais de novos casos, contrapondo com a vigilância ativa onde existe uma procura/busca ativa de novas notificações, o que a torna mais exigente em termos de recursos humanos, materiais e financeiros, nomeadamente na dimensão da sua aplicabilidade no contexto de investigação de surtos. (Lombardo, 2007).

No domínio da vigilância epidemiológica ativa podem ainda ser implementados sistemas de alerta e deteção precoce de doenças e surtos, de origem conhecida ou desconhecida, com base na análise de informação de estados de saúde pré-diagnóstico, designados por sistemas de VS.

## 2.2. Sistemas de Vigilância Sindrómica

Especialmente desenvolvidos para a deteção de surtos resultantes da propagação de doenças infecciosas de origem natural ou intencional, os sistemas de VS permitem o alerta precoce das mudanças na ocorrência de síndromes e doenças ao longo do tempo, entre lugares e comunidades de pessoas, através da análise de informação pré-diagnóstico, nomeadamente: sinais e sintomas; procura de cuidados de saúde; e consumo de medicamentos. (CDC, 2004).

Neste sentido, e em rigor, qualquer sistema que permita a recolha sistemática de informação pré-diagnóstico é candidato à designação de sistema de VS.

Neste campo, segundo o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC), dois fenómenos contribuíram para o acentuado e generalizado interesse pelos sistemas de VS nos últimos anos. O primeiro prende-se com o aumento da preocupação com o bioterrorismo, e o segundo prende-se com a evolução dos sistemas de informação médica, que permitiu a proliferação de bases de dados agrupados no domínio da saúde. (CDC, 2012).

Atendendo ao seu elevado potencial, assiste-se, inclusivamente, a uma crescente utilização de sistemas de VS para rastrear epidemias baseados em dados disponíveis na *world wide web* (www), dando origem a novos conceitos associados à vigilância epidemiológica como *Infoveillance* ou *Infodemiology*. (Eysenbach, 2011).

A eficácia dos sistemas de VS, por oposição a outros sistemas de monitorização e vigilância epidemiológica mais clássicos, resulta ainda do facto da informação recolhida e analisada anteceder a confirmação laboratorial, permitindo mobilizar uma resposta mais rápida e, consequentemente, reduzir o número de novas infeções. (Lazarus *et al.*, 2001).

Neste sentido, a VS apresenta especial aplicabilidade no contexto das doenças infecciosas, onde o diagnóstico é por si é um desafio, considerando que os quadros clínicos são muitas vezes sobreponíveis ou semelhantes, principalmente no início das manifestações clínicas.

Em Portugal, a VS integra a vigilância epidemiológica de várias doenças, como a gripe sazonal, através da análise de dados relativos ao consumo de medicamentos de venda livre, motivos de procura dos serviços de urgência e absentismo escolar e laboral, entre outros. (INSA, 2021).

No entanto, e ainda que reconhecida a sua elevada utilidade, a VS não pode substituir a vigilância epidemiológica tradicional baseada na análise de dados pós evento, nomeadamente dados resultante de notificações clínicas e/ou laboratoriais. (Lei n.º 81/2009, de 21 de agosto).

## 2.3. Vigilância sindrómica em tempo-quase-real em contexto operacional

A necessidade de implementação de uma robusta capacidade de vigilância epidemiológica, designadamente para fazer face às potenciais ameaças do uso intencional de agentes biológicos (bioterrorismo), foi identificada na Cimeira da OTAN realizada em novembro de 2002. (NATO, 2002).

Na sequência das recomendações decorrentes da referida Cimeira, diversos Estados-membros da Aliança começaram a desenvolver nas suas FFAA sistemas de vigilância sindrómica adaptados ao contexto operacional, tendo como principais objetivos a deteção precoce de potenciais epidemias (vigilância epidemiológica) e a avaliação do seu potencial impacto nos efetivos e na capacidade operacional (avaliação e gestão do risco). (NATO, 2017).

Neste contexto, o *Committee of the Chiefs of Military Medical Services* (COMEDS) da OTAN apoiou a criação de uma capacidade dedicada à vigilância epidemiológica, com a missão de contribuir para uma maior proteção das forças destacadas da OTAN contra ameaças de doenças infecciosas e ataques de bioterrorismo, através do desenvolvimento e implementação de sistemas de vigilância epidemiológica em contexto operacional, nomeadamente sistemas de Vigilância Sindrómica em Tempo-Quase-Real (VSTQR). (NATO, 2020a).

Assim, e embora a VSTQR possa ser utilizada para monitorizar um vasto leque de doenças, em missões e operações militares este tipo de vigilância epidemiológica assume especial relevância no contexto das doenças infecciosas ou de ataques bioterroristas, permitindo o alerta precoce e a rápida resposta. (NATO, 2018).

Neste sentido, integrada no espectro de abrangência da proteção da saúde das FND, a VSTQR assume-se como uma atividade essencial para a monitorização do estado de saúde dos efetivos que integram as forças da Aliança e para a definição e adoção atempada de medidas. (NATO, 2020a).

Ainda no âmbito da aplicação de sistemas de VSTQR em contexto operacional importa ter em conta as políticas da OTAN em matéria de segurança da informação e as orientações específicas em matéria de comunicação e informação médica. (NATO, 2015; NATO, 2020b).

### 3. MÉTODOS

Atendendo ao carácter exploratório da investigação, optou-se por uma estratégia de investigação qualitativa, recorrendo-se ao método de revisão da literatura com base num *corpus* documental constituído essencialmente por publicações da Direção-Geral da Saúde (DGS), do Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (INSA), da OMS, do CDC, do *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) e da OTAN.

### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A revisão da literatura apresentada permite compreender a importância e o potencial de aplicabilidade da VSTQR em contexto operacional, designadamente na vigilância epidemiológica das doenças infecciosas (re)emergentes e das ameaças biológicas de natureza intencional.

Através da identificação de alterações no padrão de morbilidade, os sistemas de VSTQR permitem a deteção e alerta precoce de doenças e surtos, a sua comunicação e a rápida implementação de medidas de controlo e resposta atempada e oportuna por forma a diminuir o seu impacto na saúde dos efetivos das FND e na capacidade operacional das FFAA. Concomitantemente, a VSTQR permite ainda uma maior consciência situacional através da compreensão da dimensão, ritmo e tendência de propagação das doenças e surtos.

Porém, e apesar da sua importância na deteção e alerta precoce, a VSTQR não substitui os mecanismos clássicos de vigilância epidemiológica, devendo ser entendida numa ótica de complementaridade.

Potencialmente diferentes dos sistemas utilizados em contexto civil, os sistemas de vigilância

epidemiológica em contexto militar devem ainda ter em consideração não só aspetos médicos e tecnológicos, mas também aspetos operacionais, designadamente no que concerne aos aspetos relacionados com a segurança da informação, e consequentemente relacionados com a segurança operacional.

Assim, e apesar de no plano teórico os sistemas de VSTQR se constituírem como ferramentas simples e flexíveis de recolha e análise de informação médica, na prática, a sua implementação em contexto operacional reveste-se de significativa complexidade, nomeadamente ao nível das exigências inerentes à segurança da informação.

Neste sentido, a par com a necessidade do uso complementar de mecanismos clássicos de vigilância epidemiológica, assumem-se como principais limitações dos sistemas de VSTQR as elevadas exigências inerentes à segurança da informação em contexto operacional.

No que concerne às principais vantagens da sua aplicação em contexto operacional, destaque para o seu contributo para a deteção e alerta precoce de doenças e surtos suscetíveis de constituir risco para a saúde dos efetivos militares, bem como para o aumento da consciência situacional.

Com o objetivo de permitir a validação das vantagens da sua aplicabilidade, e tendo em vista a sua eventual implementação futura em FND, recomenda-se a realização de testes piloto de VSTQR em unidades militares e no contexto de treino operacional coletivo.

#### Nota do autor

Artigo adaptado de trabalho realizado no âmbito da Unidade Curricular “Seminário de Cyberdefesa e Tecnologias Militares” do Curso de Doutoramento em Ciências Militares 2020/21 do Instituto Universitário Militar.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bogoch, J. et al (2019). *Pneumonia of unknown aetiology in Wuhan, China: potential for international spread via commercial air travel*. Journal of Travel Medicine, Volume 27, Issue 2, March 2020. Disponível em: <https://academic.oup.com/jtm/article/27/2/taaa008/5704418>.

Centers for Disease Control and Prevention (2004). *Framework for evaluating public health surveillance systems for early detection of outbreaks; recommendations from the CDC Working Group*. MMWR 2004;53 (No. RR-5).

Centers for Disease Control and Prevention. (2012). *CDC's vision for public health surveillance in*

- the 21st century*. Morb Mortal Wkly Rep 2012;61 (Suppl, July 27, 2012):1-40.
- Direção-Geral da Saúde (2016). *Doenças de Notificação Obrigatória*. Disponível em: <https://www.sns.gov.pt/noticias/2016/12/22/doencas-de-notificacao-obrigatoria/>.
- Eysenbach G. (2011). *Infodemiology and Infoveillance: Framework for an Emerging Set of Public Health Informatics Methods to Analyze Search, Communication and Publication Behavior on the Internet*. American Journal of Preventive Medicine. Disponível em: [https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797\(11\)00088-2/fulltext](https://www.ajpmonline.org/article/S0749-3797(11)00088-2/fulltext).
- Fronteira, I. (2019). *Manual de Epidemiologia*. Coimbra: Almedina.
- Instituto Nacional de Saúde Doutor Ricardo Jorge (2021). *Vigilância Epidemiológica da Gripe*. Disponível em: <http://www.insa.min-saude.pt/category/informacao-e-cultura-cientifica/publicacoes/atividade-gripal/>.
- Lazarus R. et al (2001). *Using automated medical records for rapid identification of illness syndromes (syndromic surveillance): the example of lower respiratory infection*. BMC Public Health. 2001;1:9.
- Lei n.º 81/2009, de 21 de agosto. *Sistema de Vigilância em Saúde Pública*. Diário da República, I série, n.º 162. Disponível em: <https://dre.pt/application/dir/pdf1sdip/2009/08/16200/0549105495.pdf>.
- Lombardo J. et al. (2007). *A Public Health Informatics Approach*. Canadá: John Willey & Sons.
- Ministério dos Negócios Estrangeiros (2018). Aviso n.º 12/2008, de 23 de janeiro. *Torna pública a nova redação do Regulamento Sanitário Internacional, adotada pela 58.ª Assembleia Mundial de Saúde em 23 de maio de 2005*. Diário da República, 1.ª série, 16, 638-687. Lisboa: Ministério dos Negócios Estrangeiros.
- Organização Mundial da Saúde (2021). *Public health surveillance* Disponível em: [https://www.who.int/immunization/monitoring\\_surveillance/burden/vpd/en/](https://www.who.int/immunization/monitoring_surveillance/burden/vpd/en/).
- North Atlantic Treaty Organization (2002). *Prague Summit Declaration*. Disponível em: [https://www.nato.int/cps/en/natohq/official\\_texts\\_19552.htm](https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_19552.htm).
- North Atlantic Treaty Organization (2012). *Detecting biological weapon use*. Disponível em [https://www.nato.int/cps/en/natohq/news\\_90256.htm?selectedLocale=en](https://www.nato.int/cps/en/natohq/news_90256.htm?selectedLocale=en).
- North Atlantic Treaty Organization. (2015). AJP-3.10 *Allied Joint Doctrine for Information Operations* - STANAG 2518. Bruxelas: NATO Standardization Office.
- North Atlantic Treaty Organization. (2017). AMedP-4.1 - *Deployment Health Surveillance* - STANAG 2535. Bruxelas: NATO Standardization Office.
- North Atlantic Treaty Organization. (2018). AJMedP-4 - *Allied Joint Medical Force Health Protection Doctrine* - STANAG 2561. Bruxelas: NATO Standardization Office.
- North Atlantic Treaty Organization. (2020a). AMedP-7.7 - *Medical Deployable Outbreak and Incident Investigation Teams* - STANAG 2551. Bruxelas: NATO Standardization Office.
- North Atlantic Treaty Organization. (2020b). AMedP-5 - *Medical Communications and Information Systems* - STANAG 2562. Bruxelas: NATO Standardization Office.

## Capacidade Oceânica de Superfície: contributos para uma capacidade pronta, relevante, holística e tecnologicamente avançada

M. Guerreiro <sup>(1)</sup>, E. Cagarrinho <sup>(2)</sup> e I. Soares <sup>(1)</sup>

- (1) Escola Naval, Almada, Portugal. Autor correspondente: miguel.silva.guerreiro@marinha.pt  
 (2) Estado-maior da Armada, Lisboa, Portugal

**Resumo:** Com uma história de mais de [700 anos](#), a Marinha Portuguesa procurou estar na vanguarda no que aos meios de superfície diz respeito. Desde a época dos descobrimentos que há registos de meios orientados para a tipologia de missão que nos dias de hoje é comumente atribuída aos meios oceânicos. As atuais fragatas da Marinha Portuguesa terminam a sua vida útil na década de 2030, já após uma modernização de meia-vida para justamente prolongar a sua vida operacional. Neste sentido, e atentas não só as atuais exigências do espectro de conflito, mas também do que se perspetiva para o futuro<sup>1</sup>, deve a Marinha Portuguesa ser capaz de renovar a sua capacidade oceânica de superfície. Nomeadamente, utilizando capacidades de operação de veículos autónomos não tripulados e adotando fatores diferenciadores ao nível da modularidade de operação e da disrupção tecnológica. Pretende-se assim com este trabalho elucidar a comunidade académica do trabalho a ser atualmente desenvolvido. Mais especificamente, com o intuito de definir os requisitos operacionais para os futuros navios da Marinha Portuguesa, nomeadamente os sucedâneos das atuais fragatas.

**Palavras-chave:** capacidade oceânica, fragatas, tecnologias emergentes, conflito, veículos autónomos não tripulados

### Primeiros navios da Marinha Portuguesa (MP)

A posição geográfica proporcionou e a vontade humana ditou que os nossos antepassados se aventurassem para o desconhecido alto-mar em busca de novas terras, novas gentes e novas oportunidades de negócio. Pese embora o que antecede, o período que marcou e definiu Portugal como uma relevante potência marítima mundial foi a época dos Descobrimientos<sup>2</sup>. A experiência de anos no mar e a necessidade de navios com outras características e novas capacidades levou à criação da Caravela, esta foi projetada para resistir aos mares que fossem sendo descobertos e ser decisiva nos combates que houvesse a travar.

Ainda no período dos Descobrimientos, consolidadas as novas rotas, surge a necessidade de navios maiores. Estes deviam aliar a robustez e valor militar à capacidade mercantil e grande autonomia, permitindo assim a exploração do Índico e das suas riquezas. Esta demanda levou ao desenvolvimento e à adoção das Naus como navios de referência, mantendo as Caravelas como navios de apoio. Sendo uma época de grandes e rápidas transformações e decisões, não é de estranhar que já em 1520 se observe uma Marinha coerentemente organizada em três frotas distintas, a Armada da Costa, a Armada das Ilhas e a Armada do Estreito.

### Evolução das Fragatas da MP

O início do século XX foi marcado por fortes tensões a nível nacional e internacional. Da implementação da República em 1910, à I Guerra Mundial e às suas

“redistribuições” territoriais, bem como às sucessivas crises políticas e sociais que assolaram a República, parece natural a observação de que o foco dos dirigentes portugueses se estabelecesse primariamente na manutenção e afirmação da soberania nacional sobre as províncias ultramarinas e os seus essenciais recursos naturais.

É neste contexto que surge a opção por navios escoltas oceânicas do tipo Fragata, com elevado raio de ação. Fazendo uso das palavras da MP, as fragatas são definidas como “Navios de 1.500 a 5.000 toneladas de deslocamento e comprimento entre 75 e 150 metros, possuem armamento anti superfície, antiaéreo e antissubmarino e são, por natureza, escoltas oceânicas, embora sejam navios de grande capacidade e versatilidade.” É então estabelecida a Classe “[Afonso de Albuquerque](#)” (1935-1967), com o intuito de manter a soberania nacional nas colónias ultramarinas e eram vocacionados para o apoio de desembarques anfíbios e forças a operar em terra. Foram os primeiros navios da MP a dispor de aeronaves embarcadas.

Construídas no decorrer da II Guerra Mundial, em Inglaterra, as fragatas da Classe “[Diogo Gomes](#)” (1948-1970) foram cedidas a Portugal após o término da mesma, no ano de 1948. Desenhadas como escoltadores oceânicos antissubmarinos, eram destinadas a proteger os comboios de navios mercantes que procuravam manter a sustentação logística dos países europeus no combate aos países do Eixo. No final da década de 50, início da década de 60, com o surgimento do Pacto de Varsóvia, da *North Atlantic*

<sup>1</sup> GABCEMGFA (2021). Diretiva Estratégica do EMGFA (2021-2023). Lisboa

<sup>2</sup> RODRIGUES, Jorge DEVEZAS, Tessaleno (2009). Portugal- O Pioneiro da Globalização – A Herança das Descobertas. Centro Atlântico. V.N. Famalicão

*Treaty Organization* (NATO) e o estabelecimento da Guerra Fria, as necessidades de defesa coletiva dos aliados e a perceção das ameaças existentes é novamente alterada. Para dar resposta a estes acontecimentos, Portugal adquire quatro fragatas antiaéreas provenientes de Inglaterra, que compõem a Classe “Álvares Cabral” (1959-1971), construídas em 1945 pelo Reino Unido. No mesmo período, Portugal adquire também duas fragatas excedentárias provenientes dos Estados Unidos da América, vocacionadas para a escolta de comboios de navios mercantes e reconhecimento radar. Estas duas fragatas compuseram a Classe “Diogo Cão” (1957-1968).

A fragata Pêro Escobar (1957-1975), única da sua classe, foi construída em Itália com base em projetos americanos, e desenhada com o objetivo de ser um contratorpedeiro de escolta aos grupos-tarefa navais da altura. Foi, durante bastantes anos, o navio mais rápido da MP.

Decorria o ano de 1966 e entravam ao serviço três novas fragatas, baseadas em modelos americanos, mas construídas em Portugal, projetadas para luta antissubmarina e para operar no Atlântico Norte contra a ameaça soviética. As fragatas da Classe “[Almirante Pereira da Silva](#)” (1966-1985) eram um esforço de modernização da componente naval face aos compromissos internacionalmente assumidos no âmbito da NATO. No entanto, as suas características ditaram o seu precoce abate, atento o período temporal decorrido entre a sua conceção e a sua construção e entrada ao serviço e as vicissitudes entretanto corridas. Devido à rápida perceção do seu fraco valor militar enquanto navios antissubmarinos, estas acabaram por ser substituídas pelas quatro fragatas da Classe “[João Belo](#)” (1967-2008).

As fragatas da Classe “João Belo” foram projetadas na década de 50 do século passado pela marinha francesa como escoltadores oceânicos para a proteção das suas províncias em África, nas Caraíbas e América do Sul. Portugal encomenda, em 1964, as quatro fragatas que são construídas em França e acaba a empenhá-las no Ultramar Português face à emergência dos movimentos independentistas nas províncias ultramarinas. Possuíam uma boa capacidade de luta antissubmarina (AS) e de convés de voo para operar um helicóptero ligeiro não orgânico. Operaram até 2008, tendo sido substituídas pela Classe “Bartolomeu Dias”.

### Fragatas atuais

Em 1985 é autorizado pelo governo a aquisição de três novas fragatas, baseadas no conceito modular alemão MEKO 200, as quais sofrem alterações determinadas pelo país e ganham a designação de MEKO 200PN. Construídas na Alemanha, entram ao serviço da Marinha a partir de 1991. Apelidada de Classe “[Vasco da Gama](#)” (1991-), estas fragatas permitiram, devido ao seu conceito modular, a instalação de diversos sistemas e a facilidade de posterior modernização.

Maiores em relação às suas antecessoras, as “Vasco da Gama” estão equipadas com convés de voo e hangar duplo para operar com o *Westland Super Lynx* Mk95,

o helicóptero orgânico estava equipado com um sonar arriável. Permitiam assim uma extensão das reconhecidas boas capacidades de luta AS dos navios, fruto sobretudo do seu inovador e capaz sonar de casco. Ao longo da sua vida foram sofrendo modernizações, como novos sistemas de comunicações e comando e controlo. Atualmente, prevê-se que das 3 fragatas da Classe “Vasco da Gama”, duas irão ser modernizadas e uma será atualizada.

Em 1991, a Marinha Holandesa constrói, um conjunto de 8 fragatas da Classe “*Karel Doorman*”. Foram projetadas por forma a operar nos três ambientes tradicionais da guerra (aéreo, superfície e subsuperfície), embora o seu objetivo primordial seja o de servirem em apoio aos grupos-tarefa navais tradicionais. Operam normalmente de forma isolada, em posição avançada relativamente à força, em ambientes com pouco ruído mecânico, por forma a maximizar o desempenho dos seus sensores acústicos, designadamente o seu sonar de casco e o seu sonar rebocado, na deteção de submarinos. Possuem também uma razoável capacidade de defesa própria, quer de ameaças aéreas quer submarinas.

Em 2006, Portugal assina o contrato de aquisição de dois navios desta classe, entrando ao serviço da MP em 2009. As Classe “[Bartolomeu Dias](#)” (2009-) são ligeiramente maiores que as “Vasco da Gama”, com convés de voo e hangar para helicóptero orgânico. De referir que os helicópteros se encontram em fase final de modernização, sendo agora denominados *Westland Super Lynx* Mk95A.

As “Bartolomeu Dias” sofreram também um MLU, sendo modernizados imensos sistemas de bordo, que permitiram estender a sua vida útil combatente por mais de uma dezena de anos. Entre os mais significativos assinala-se a substituição do seu mastro que alberga os sensores radar e eletromagnéticos e a modernização do seu sistema de combate. Na sua modernização, foi também considerada uma melhoria significativa das condições de habitabilidade de guarnição.

A análise histórica que precede permite constatar que Portugal procurou sempre desenvolver meios navais com cariz predominantemente antissubmarino. Verifica-se que esta abordagem não é apenas fruto da relevante posição geográfica de Portugal junto de grandes linhas de navegação mercante, mas também dos continuados compromissos assumidos internacionalmente junto da Aliança Atlântica nesta tão relevante disciplina do combate naval.

### Meios Oceânicos de Superfície (MOS) de nova geração – a perspetiva internacional

As maiores fragatas em operação nos dias de hoje, são as alemãs da Classe “[Baden-Woerttemberg](#)”, em operação desde 2019 e desenhadas para operações assimétricas, de comando, controlo e suporte a operações especiais. Foram desenhadas com tecnologia “stealth” reduzindo as assinaturas térmicas, acústicas e radar, e ainda com um grande foco na redundância, duplicando quase todos os sistemas

existentes a bordo. Devido ao seu foco em guerra assimétrica e operações de manutenção de paz, estão também equipadas com armamento não letal como canhões de água. Estão capacitadas para a operação de *Unmanned Underwater Vehicles* (UUV) e devido ao seu foco acabam por não ter uma grande capacidade de defesa antiaérea (AA) e AS, estando para isso dependentes de aeronaves. Prevalece a automação do armamento e a multiplicidade de sensores de deteção em redor da plataforma como uma das características-chave desta classe de navios.

Passando para uma classe de navios desenhada para a luta AA, a Classe “*Iver Huitfeldt*” dinamarquesa, entrou em serviço em 2012. Esta baseia-se nas fragatas da Classe “*Absalon*” e aproveitam o *design* do casco das mesmas. As fragatas foram projetadas com base no conceito modular *StanFlex*, permitindo a montagem de uma multiplicidade de sistemas. Contam com sistemas de aviso aéreo de alta precisão e com uma grande capacidade de aplicar medidas de *softkill* contra ameaças aéreas. A elevada capacidade modular permite aos navios o reequipamento de missão para missão e o uso partilhado de sistemas com outros navios *StanFlex*. São ainda capazes de operar organicamente com o helicóptero MH-60R.

Voltando à capacidade AS, o projeto Italo-Francês *Frégate Européenne Multi-Mission* (FREM) desenvolveu uma fragata multipropósito com diferentes configurações, uma das quais - a Classe “Aquitaine” francesa - com foco na luta AS, equipadas com uma variedade de sistemas dedicados a *Anti-Submarine Warfare* (ASW), desde sonar de casco a sistemas de última geração de *towed array* passivos e ativos.

### Navios a serem desenvolvidos

O programa conhecido como “*Global Combat Ship*” ou fragata *type 26*, é uma classe de fragatas a ser desenvolvida pelo Reino Unido com variantes para a Marinha Australiana e Canadiana. O seu foco é a guerra AS, mantendo capacidades de suporte e defesa AA e operações convencionais.

Projetadas de forma a serem facilmente convertidas e adaptadas para desempenhar diversas funções com base no ambiente estratégico, irão possuir sistemas de última geração, tanto em termos de radares e equipamentos de guerra eletrónica como em termos de sonares. Sendo o seu foco a guerra AS, terão a capacidade de operar organicamente 2 helicópteros *Wildcat* ou *Merlin* e o convés de voo será capaz de operar com um helicóptero pesado, como o *Chinook*.

O navio terá ainda uma “*Flexible Mission Bay*” capaz de alojar tanto múltiplos contentores, como múltiplas embarcações e sistemas de apoio a veículos não tripulados. Sendo espectável a operação orgânica de *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV). O foco será nos sistemas autónomos, propulsão elétrica, armamento

controlado remotamente, capacidade modular e “*flexible bay*”.

Já os americanos, baseados no projeto FREMM, estão a desenvolver uma fragata multimissão de nome Classe “*Constellation*”. É pretendido pela marinha americana que os navios sejam capazes de destruir navios inimigos além-horizonte, detetar os submarinos inimigos, defender os porta-aviões ou outras *High Value Units* (HVU), que façam o emprego ativo e passivo dos sistemas de guerra eletrónica e que sejam capazes de defesa contra ataques de “*enxames*” de pequenas embarcações ou *Unmanned Surface Vehicles* (USV). Deverão ser capazes de operar um helicóptero MH-60R organicamente em conjunto com um UAV *MQ-8C Firescout*. O foco é assim no armamento, na utilização de meios autónomos e na propulsão elétrica. A nível nacional, estão em progresso e em vista um conjunto de projetos para a modernização da componente naval oceânica. Nomeadamente, o MLU na Classe “Bartolomeu Dias”, a modernização e reconfiguração da Classe “Vasco da Gama” e o começo do projeto de desenvolvimento das futuras fragatas da MP, reforçando assim a capacidade de projeção “militar” nacional.

Estão ainda a ser desenvolvidos outros conceitos e tipos de navios para a multiplicidade de missões encarregues à MP. Entre eles, a Plataforma Multipropósito, o Reabastecedor de Esquadra, os Navios de Patrulha Oceânica (NPO) de 3.ª Geração, um novo conceito de Patrulha Costeiro e o desenvolvimento e aquisição de novos meios autónomos não tripulados.

Portugal, reconhecendo a importância das fragatas face às ameaças tradicionais, presentes e futuras, reconhece igualmente a sua incapacidade financeira e orçamental. Em vez de adotar a abordagem tradicional de “*bigger is better*”, vai sim optar por “sufurar” a onda da vanguarda tecnológica no maior número de frentes possíveis.

Para tal, irá trabalhar no desenvolvimento de sistemas de integração e compilação de dados de última geração. Manter-se-á na linha da frente e criará alternativas que nos tornem independentes de terceiros, reforçando ainda o investimento na indústria e academia nacional<sup>3</sup>. Portugal e a Marinha têm também vindo a demonstrar o seu foco na vanguarda tecnológica e no contínuo desenvolvimento de sistemas e equipamentos de última geração. São exemplos disto a criação da *Zona Livre Tecnológica Infante D. Henrique*, que vai permitir não só à indústria e academia nacional a experimentação dos seus sistemas, mas também a todos os países aliados. Mediante requisição, estes possuem infraestruturas que lhes conferem a capacidade de testar meios autónomos nos três ambientes e possibilidade de testar sistemas de comunicações, entre outros sistemas.

<sup>3</sup> GABCEMGFA(2022). Visão Estratégica Militar – Para as Forças Armadas Portuguesas (2022-2034). Lisboa

No seio da NATO, temos também sido impulsionadores de inovação com o crescimento anual do exercício *Robotic Experimentation Prototyping augmented by Maritime Unmanned Systems* (REPMUS), realizado junto à península de Troia e que este ano contou com a presença de 25 países e 17 navios, testando 104 sistemas autónomos.

É esta renovação da esquadra e este foco na inovação e tecnologia de ponta que permite ambicionar uma Marinha holística, pronta, útil, focada, significativa e tecnologicamente avançada.

## REFERÊNCIAS

- BAE Systems(s.a). Global Combat Ship. Consultado a 13 de setembro de 2022. Disponível em <https://www.baesystems.com/en/product/global-combat-ship>
- Bundeswehr(s.a). Equipamento e Tecnologia. Consultado a 26 de setembro de 2022. Disponível em <https://www.bundeswehr.de/de/ausrustung-technik-bundeswehr/seesysteme-bundeswehr/baden-wuerttemberg-klasse-f125-fregatten>
- DIT-EMGFA(2022). Diretiva Estratégica para a Inovação nas Forças Armadas (2022-2023). Lisboa
- Fincantieri(s.a). The Defenders. Consultado a 29 de setembro de 2022. Disponível em <https://www.fincantieri.com/en/products-and-services/naval-vessels/bergamini-class/>
- Forsvaret(s.a). ASW-Fregatter. Consultado a 15 de julho de 2022. Disponível em <https://www.forsvaret.dk/da/materiel2/ASWfregatter/>
- Forsvaret(s.a). Fregatter. Consultado a 15 de julho de 2022. Disponível em <https://www.forsvaret.dk/da/materiel2/fregatter/>
- GABCEMA(2022). Diretiva Estratégica da Marinha 2022. Lisboa
- GABCEMGFA(2021). Diretiva Estratégica do EMGFA (2021-2023). Lisboa
- GABCEMGFA(2022). Visão Estratégica Militar – Para as Forças Armadas Portuguesas (2022-2034). Lisboa
- Governo de Portugal(s.a). Conceito Estratégico de Defesa Nacional. Lisboa
- Marinha(2017). Marinha, 700 anos a servir Portugal no Mar. Consultado a 30 de setembro de 2022. Disponível em <https://www.marinha.pt/pt/a-marinha/historia/servir-portugal/Paginas/default.aspx>
- Marinha.(2022). Revista da Armada nº576. Lisboa
- Ministère des Armées(s.a). Frégates multi-missions. Consultado a 10 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.defense.gouv.fr/marine/nos-equipements/fregates-multi-missions-fremm>
- Ministério da Defesa Nacional(2015). Defesa-2020. Lisboa
- NATO(2022). NATO Strategic Concept. Madrid
- Naval Group(2018). Floating out of the eighth FREMM frigate, Normandie: Naval Group reaches its objectives. Consultado a 25 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.naval-group.com/en/floating-out-eighth-fremm-frigate-normandie-naval-group-reaches-its-objectives>
- Naval Group(2020). Building for the long term in the age of instant everything: the case of the FREMMs. Consultado a 25 de agosto de 2022. Disponível em <https://www.naval-group.com/en/building-long-term-age-instant-everything-case-fremms>
- Navy Recognition(2012). DCNS unveils the new FREMM-ER sporting phased-array antenna and anti-ballistic missile capability. Consultado a 20 de Agosto de 2022. Disponível em <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-exhibitions/2012-archive-naval-exhibitions/euronaval-2012/716-dcns-unveils-the-new-fremm-er-sporting-phased-array-antenna-and-anti-ballistic-missile-capability.html>
- Navy Recognition(2022). Huntington Ingalls to deliver three REMUS 100 UUVs to Royal Navy. Consultado a 3 de outubro de 2022. Disponível em <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-news-archive/2022/september/12224-huntington-ingalls-to-deliver-three-remus-100-uuv-to-royal-navy.html>
- Navy Recognition(2022). Raytheon reaches new milestone to counter hypersonic missile threats»2022, Navy Recognition. Consultado a 1 de outubro de 2022. Disponível em <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-news-archive/2022/september/12231-raytheon-reaches-new-milestone-to-counter-hypersonic-missile-threats.html>
- Navy Recognition(2022). Spanish OPV Audaz successfully operates Airfox UAV during NATO exercise»,2022, Navy Recognition. Consultado a 1 de outubro de 2022. Disponível em <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-news-archive/2022/september/12268-spanish-opv-audaz-successfully-operates-airfox-uav-during-nato-exercise.html>
- Navy Recognition(2022). Turkish USV Marlin successfully deployed during NATO exercise in Portugal»,2022, Navy Recognition. Consultado a 1 de outubro de 2022. Disponível em <https://www.navyrecognition.com/index.php/naval-news/naval-news-archive/2022/september/12264-turkish-usv-marlin-successfully-deployed-during-nato-exercise-in-portugal.html>
- CORREIA, Pedro F. (2020). Da Nação Marítima que Somos para Ser. Consultado a 3 de outubro de 2022. Disponível em <https://revistademarinha.com/da-nacao-maritima-que-somos-para-ser/>
- SeaForces(s.a). Iver Huitfeldt class Guided Missile Frigate. Consultado a 30 de Agosto de 2022. Disponível em <https://www.seaforces.org/marint/Danish-Navy/Frigate/Iver-Huitfeldt-class.htm>
- Thyssenkrupp(s.a). Frigates. Consultado a 10 de junho de 2022. Disponível em <https://www.thyssenkrupp-marinesystems.com/en/products-services/surface-vessels/frigates>

## Sistema de arrefecimento corporal no uso de fatos de protecção nuclear, biológica, química e radiológica - NBQR

M. Fernandes(1), M. A. A. Mendes (2) e A. S. Moita (1,3)

- (1) Centro de Investigação Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203 Lisboa, Portugal. [moita.asoh@exercito.pt](mailto:moita.asoh@exercito.pt)
- (2) LAETA, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal.
- (3) IN+, Centro de Estudos em Inovação, Tecnologia e Políticas de Desenvolvimento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal.

**Resumo:** O vestuário de protecção nuclear, biológica, química e radiológica, NBQR isola os militares que o usam, impedindo os fenómenos de transporte de massa e de energia que possibilitam a termorregulação do corpo. Os militares ficam por isso sujeitos a condições fisiológicas extremamente exigentes. Existem algumas soluções sugeridas para aumentar o conforto térmico durante o uso deste tipo de vestuário, mas as soluções encontradas não são ainda suficientemente eficazes, de modo a equilibrar a eficácia do sistema de arrefecimento, com a complexidade e peso do mesmo. Neste contexto, o presente trabalho descreve uma parte de um projeto mais vasto, que objetiva o desenvolvimento, teste e implementação de um sistema de gestão térmica e climatização de equipamento de combate, e em particular de equipamento NBQR. A fase do projeto aqui descrita apresenta o modelo térmico desenvolvido para dissipação da taxa metabólica produzida, o projeto e optimização da geometria e os principais componentes do sistema a desenvolver.

**Palavras-chave:** tecnologias de defesa NBQR; controlo térmico; modelo térmico; microfluídica; optimização.

### 1. INTRODUÇÃO

A proliferação das Armas de Destruição Massiva (ADM) coloca um enorme problema à paz no mundo e segurança nos estados e entre os estados. O problema não é recente, mas a evolução da tecnologia contribuiu para uma preocupação crescente com as ADM. Existe um esforço dos estados em estabelecerem acordos que conduzam à contenção destas armas e até à sua destruição. Eventos que provocam a dispersão de produtos nucleares, biológicos, químicos e radiológicos (NBQR) devido a acontecimentos naturais, acidentais ou intencionais, são considerados situações de risco e representam nos dias de hoje uma das preocupações mais críticas para a segurança e saúde (Exército Português, 2019). Para responder às ameaças e riscos, o Estado português definiu no Conceito Estratégico de Defesa Nacional - CEDN o objetivo de “desenvolver as capacidades militares necessárias à mitigação das consequências de ataques terroristas, cibernéticos, NBQR - Nuclear, Bacteriológico, Químico, ou Radiológico - e de catástrofes e calamidades”. Para isso, é indispensável o reforço da coordenação entre as várias instâncias do Estado com responsabilidades na prevenção e resposta a estes riscos. No CEDN é também referido que, “É também necessário promover a melhoria das capacidades de defesa NBQR”. Nesse sentido, é prioritário reforçar a capacidade das forças nacionais com o desenvolvimento de tecnologia, para se fazer face, de forma mais eficiente e eficaz, a doenças epidémicas, ou a ataques com armas NBQR. Tendo

em conta a tipologia das Missões das Forças Armadas (MIFA) e das ameaças à Segurança Nacional, deverá ser atribuído um maior grau de prioridade às capacidades indispensáveis para resposta às consequências de ataques terroristas NBQR e de catástrofes e calamidades (Resolução do Conselho de Ministros n.º 19/2013, 2013). Os militares que utilizam os fatos de protecção podem ser colocados sob consideráveis condições fisiológicas e térmicas durante as tarefas operacionais devido às exigências físicas das missões e do grau de protecção das roupas e aparelhos respiratórios usados. Este tipo de vestuário cria um ambiente de stress térmico, uma vez que a perda de calor necessária para manter o equilíbrio térmico excede a máxima capacidade evaporativa do sistema. A roupa restringe a perda de calor por evaporação impedindo o indivíduo de dissipar o calor metabólico produzido, provocando um aumento da temperatura corporal que, consequentemente poderá levar até à exaustão. Segundo a a Publicação Doutrinária do Exército, PDE 3-00 Operações, uma função de combate é um grupo de tarefas e sistemas (pessoas, organizações, informações e processos) unidos por uma finalidade comum que os comandantes aplicam para cumprir missões operacionais e de treino. As funções de combate são combinadas de forma a gerar potencial de combate para o decurso das operações. A função de combate e de protecção engloba as tarefas e sistemas que preservam a força para se dispor do máximo potencial de combate, portanto, o conforto e segurança no uso do equipamento de protecção torna-

se um fator essencial para o bom desempenho das forças. O vestuário NBQR isola o combatente do meio exterior, para o proteger, mas impede a ocorrência dos fenómenos de transporte de massa e de energia associados à termorregulação (Nunneley, 1970; Tokizawa *et al.*, 2020). Uma das soluções mais comumente usada para regular a temperatura do combatente recorre a reações químicas de fusão/solidificação (Muir *et al.*, 1999). Estas soluções são pouco eficientes, para além de aumentarem o peso do equipamento. Os sistemas de arrefecimento corporal mais complexos são baseados no arrefecimento com convecção forçada a ar ( “Air-Cooled Garments - ACG”) ou a líquido ( “Liquid Cooling Garments - LCG”), podendo estes últimos ainda tirar partido da parcela de calor latente removida com a mudança de fase do líquido ( “Phase Change Garments - PCG”). Apesar do intenso trabalho de investigação já realizado (e.g. Cao *et al.*, 2006; Bartkowiak *et al.*, 2017; Tokizawa *et al.*, 2020) o trabalho tem-se focado muito em geometrias com tubos de dimensões relativamente grandes, onde avaliam o efeito de diversos parâmetros como o padrão de tubulação, o caudal de líquido e a temperatura de entrada de líquido (Young *et al.*, 1987; Nag *et al.*, 1998; Xu *et al.*, 1999; Chevront *et al.*, 2003; ). Assim sendo, ainda não se encontrou ainda uma solução que equilibrasse a eficácia do sistema de arrefecimento, com a complexidade e peso do mesmo e com a necessidade de potências elevadas de bombagem. Neste contexto, o presente trabalho integra um projeto mais amplo que considera de desenvolvimento, teste e implementação de um sistema de gestão térmica e climatização de equipamento de combate e em particular de equipamento NBQR. O trabalho descrito neste artigo apresenta o modelo térmico desenvolvido para dissipação da taxa metabólica produzida, o projeto e optimização da geometria e os principais componentes do sistema a desenvolver.

## 2. METODOLOGIA DE PROJETO E RESULTADOS INTERMÉDIOS

O balanço de energia efetuado a um corpo humano considera essencialmente os seguintes termos:

$$Q_a = (Q_m - W) - (Q_{conv} + Q_{cond} + Q_{rad} + Q_{eva} + Q_{res}) \quad (1)$$

Onde  $Q_a$  é a taxa de energia armazenada no corpo,  $Q_m$  é a taxa de calor metabólico produzido pelo corpo,  $W$  é a potência associada ao trabalho mecânico,  $Q_{conv}$  é a taxa de calor trocado por convecção,  $Q_{cond}$  é a taxa de calor trocado por condução,  $Q_{rad}$  é a taxa de calor trocado por radiação e  $Q_{eva}$  é a taxa de calor trocado por evaporação (na transpiração). Finalmente,  $Q_{res}$  é a taxa de calor dissipado na respiração.

Considerando que o fato de proteção NBQR não permite trocas de energia nem de massa com o exterior, podemos assumir que o corpo está contido

num volume de controlo isolado. Na realidade, existem sempre trocas de calor com o exterior, principalmente por radiação, e por convecção, bem como por evaporação na respiração, mas são valores muito baixos, quando comparados com a taxa metabólica (na maioria dos casos, a perda de calor por respiração e condução são inferiores a 5% e 1%, respetivamente).

Adicionalmente, consideraram-se ainda as seguintes hipóteses simplificativas:

1. A transferência de calor decorre em estado estacionário.
2. A transferência de calor que ocorre na pele é unidimensional, na direção normal à pele.
3. A roupa e a pele humana são consideradas superfícies homogéneas.
4. A camada de ar existente entre a pele e o vestuário é desprezada.

Neste cenário, a equação de balanço de energia para determinar a quantidade de calor que é necessário dissipar do corpo é simplificada em:

$$Q_a = Q_m - Q_s \quad (2)$$

Sendo  $Q_s$  a taxa calor que tem de ser dissipada de modo a que não se armazene calor no corpo i.e. de modo a que  $Q_a = 0$ .

Para um indivíduo de estatura média, com uma massa ( $m$ ) de 71 quilogramas e com 1.72 metros de altura ( $l$ ), é possível obter a área superficial do corpo,  $A_D$ , utilizando a relação desenvolvida por DuBois e DuBois (1915):

$$A_D = 0.202m^{0.425}l^{0.725} = 1.832m^2 \quad (3)$$

Shvartz (1972) comparou diferentes unidades de arrefecimento corporal e recomenda que o sistema de arrefecimento seja distribuído de acordo com a percentagem que permite maximizar a dissipação de calor distribuída pelas diversas partes do corpo: 30% - Tronco, 25% - Cabeça e pescoço, 17% - Coxas, 15% - Parte superior dos braços, 8% - Gêmeos, 5% - Antebraços.

Neste estudo consideraram-se dois níveis de taxa metabólica, uma baixa, e uma alta. Pela literatura e.g. ASHRAE, um indivíduo a caminhar a 3.2km/h produz cerca de 112W/m<sup>2</sup> de fluxo de calor metabólico. Este valor é considerado baixo. Já um indivíduo numa atividade física moderada/elevada poderá produzir uma média de 300 W/m<sup>2</sup> de fluxo de calor metabólico.

Considerando estes valores como base, foi possível otimizar a dimensão dos permutadores de calor que serão associados de forma modular, de modo a cobrir as percentagens fulcrais das áreas corporais acima identificadas. A geometria destes pequenos permutadores, foi também otimizada, considerando

que são constituídos por conjuntos de tubos de área de secção de algumas centenas de microns. Esta solução, de acordo com a experiência da equipa e seguindo a literatura revista, potenciará um arrefecimento homogénio, com elevados coeficientes convectivos e perdas de carga mínimas (com conseqüente necessidade mínima de bombagem). Os caudais de líquido necessários são da ordem das centenas de mL/min. Para estes valores de caudal, e considerando a dimensão micrométrica da secção dos tubos que compõem os permutadores, o escoamento ocorre sempre em regime laminar. O comprimento dos tubos garante que o escoamento se encontra sempre completamente desenvolvido térmica e hidrodinamicamente.

A optimização realizada teve por base duas funções objectivo. A primeira função objectivo foca-se em encontrar os valores de  $T_i$  (temperatura de entrada no permutador) e de  $T_0$  (temperatura de saída no permutador) de forma que a seguinte aproximação tenha uma diferença menor que 5%:

$$\Delta T_{pm} \approx T_f - T_p \quad (4)$$

Onde  $T_f$  é a temperatura média do fluido avaliada entre  $T_i$  e  $T_0$  e  $T_p$  é a temperatura da pele.

Sendo o calor trocado por convecção diretamente proporcional a  $T_i - T_0$ , pretende-se maximizar esta diferença de temperatura, garantindo o conforto térmico. De acordo com a literatura consultada, para garantir este conforto térmico, a temperatura de entrada do líquido não deve ser inferior a 15°C.

Esta função objetivo permite que a variação de temperatura seja o mais linear possível e também que o permutador de calor se mantenha com uma eficiência alta, uma vez que parte do fluido, principalmente no final dos canais, poderá atingir uma temperatura muito próxima da temperatura da pele, e nesse caso, a transferência de calor nessa zona final do canal seria reduzida. Na Fig. 1, representa-se esta função objetivo, demonstrando o cenário pretendido (linha a laranja), vs o que se pretende evitar (linha a azul). A minimização desta função objetivo devolveu um valor óptimo de temperatura à saída de 24.7°C. Nesta fase do trabalho, o fluido considerado é água. O permutador é feito de um polímero (para lhe conferir flexibilidade, leveza e baixo custo de material) com elevadas propriedades termofísicas.

Com este valor, é possível determinar a resistência térmica que os módulos deverão ter para que seja possível transferir 165 W da pele para a água (situação mais crítica). A resistência térmica determinada foi de 0.076K/W.

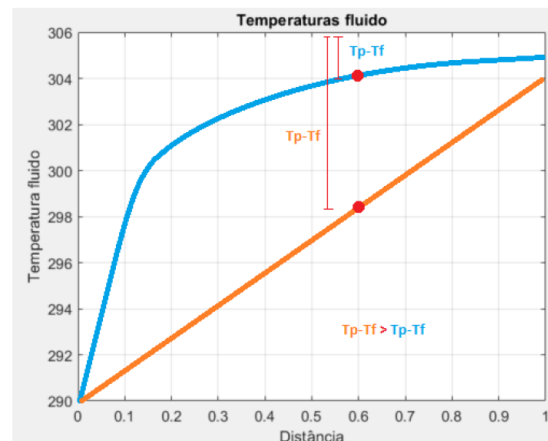


Fig. 1. Interpretação gráfica da função objectivo apresentada na equação (4). A abcissa representa a distância longitudinal ao longo dos tubos que compõem o permutador.

Definindo uma variação da taxa de calor a remover entre 55W e 165W, correspondentes à situação menos e mais crítica de uso, este procedimento de optimização foi repetido, permitindo assim optimizar o valor das temperaturas de entrada e os respetivos valores “esperados” de saída do permutador. Ao definir as temperaturas de entrada e saída foi possível calcular o caudal mássico óptimo. Esta abordagem permite que a resistência térmica se mantenha praticamente constante, possibilitando uma melhor previsão da transferência de calor para um certo fluxo de calor, uma vez que pela teoria clássica, o aumento do número de Reynolds (relação adimensional entre as forças de inércia e forças viscosas do escoamento) em escoamento laminar não afeta o coeficiente de convecção. Porém, na prática, dado que as condições de funcionamento do permutador não são perfeitamente estacionárias, o coeficiente de convecção pode variar com o caudal mássico e conseqüentemente com o aumento do número de Reynolds, podendo aumentar consideravelmente o erro da quantidade de calor previsto a ser extraído.

Determinada a resistência térmica total do permutador é possível focarmo-nos na função objetivo 2, destinada a optimizar a geometria e principais dimensões do permutador. A geometria e material do permutador optimizado não podem ser divulgados, por questões de protecção de propriedade intelectual do produto que está a ser desenvolvido.

Após o fluido, neste caso a água, passar pelos módulos de arrefecimento, irá sair destes a uma temperatura superior à que entrou e será injetada no arrefecedor, que consiste num sistema de arrefecimento da água. Este sistema tem como objetivo extrair o calor da água para o meio ambiente, para baixar a sua temperatura, para que seja novamente escoada para os módulos de arrefecimento corporal. Neste estudo investigaram-se 3 formas possíveis de arrefecer a água, nomeadamente o uso de gelo, i.e. inferir se a quantidade de calor latente que

poderá receber e a sua durabilidade são compatíveis com a duração da missão (pelo menos 1h). Avaliou-se também a possibilidade de usar módulos termoelétricos, e finalmente avaliou-se o uso de um sistema de refrigeração com compressão e um líquido de refrigeração. Qualquer um destes sistemas, poderá ser contido numa mochila de pequenas dimensões com ligação ao restante sistema por tubos do exterior para o interior.

Das três hipóteses avaliadas, verificou-se que o arrefecimento do fluido de trabalho seria mais vantajoso se fosse realizado por um sistema de refrigeração com compressão e um líquido de refrigeração. O sistema de refrigeração com compressão terá dimensões características das dezenas de cm e peso na ordem das centenas de gramas, não aumentando assim significativamente o peso do equipamento do militar. Apesar de exigir um fabrico dedicado, já se encentraram conversações com algumas empresas para que o fabrico deste componente seja economicamente viável, se for produzido em larga escala.

### 3. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado consitui parte de um projeto mais amplo que considera de desenvolvimento, teste e implementação de um sistema de gestão térmica e climatização de equipamento de combate e em particular de equipamento NBQR.

O trabalho aqui apresentado descreve o modelo térmico desenvolvido para dissipação da taxa metabólica produzida, o projeto e optimização da geometria e os principais componentes do sistema a desenvolver. O sistema projetado está neste momento a ser testado em laboratório. Os resultados preliminares mostram um bom desempenho do permutador projetado. Trabalho futuro considera a sua integração no sistema completo e no fato, para realização de testes em ambiente relevante.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Exército Português o apoio financeiro concedido através do projeto CINAMIL – Desenvolvimento de sistemas de gestão térmica e climatização de equipamento NBQ.

### REFERÊNCIAS

- Bartkowiak, G., Dabrowska, A. e Marszalek, A. (2017) Assessment of an active liquid cooling garment intended for use in a hot environment. *Applied Ergonomics*, 58:182–189.
- Cao, H., Branson, D. H., Peksoz, S., Nam, J. e Farr, C. A. (2006) Fabric selection for a liquid cooling garment. *Textile Research Journal*, 76(7): 587–595.

Cheuvront, S. N., Kolka, M. A., Cadarette, B. S., Montain, S. J., e Sawka, M. N. (2003) Efficacy of intermittent, regional microclimate cooling. *Appl Physiol*, 94:1841–1848. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol>

Exército Português, 2019. PDE 3-40-00 Defesa NBQR. Lisboa: Estado-Maior do Exército.

Muir, I. H., Bishop, P. A. e Ray, P. (1999) Effects of a novel icecooling technique on work in protective clothing at 28°C, 23°C, 18°C WBGTs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 60:96–104.

Nag, P. K., Pradhan, C. K., Nag, A., Ashtekar, S. P., e Desai, H. (1998) Efficacy of a water-cooled garment for auxiliary body cooling in heat. *Ergonomics*, 41(2):179–187.

Nunneley, S. (1970) Water cooled garmants: a review. *Space Life Sciences*, 2:335-260

Tokizawa, K., Son, S.-Y., Oka, T. e Yasuda, A. (2020) Effectiveness of a field-type liquid cooling vest for reducing heat strain while wearing protective clothing. *Industrial Health*, 58:63-71.

Xu, X., Hexamer, M., e Werner, J. (1999). Multi-loop control of liquid cooling garment systems. *Ergonomics*, 42(

Young, A. J., Sawka, M. N., Epstein, Y., Decristofano, B., e Pandolf, K. B. (1987). Cooling different body surfaces during upper and lower body exercise. *J Appl Physio.*, 63(3):1218-1223.

## Níveis de vitamina D de militares portugueses

M. Henriques (1), P. Soares (2), E. Sacadura-Leite (2)

- (1) Escola Nacional de Saúde Pública; Centro de Investigação Naval (CINAV). [santos.henriques@marinha.pt](mailto:santos.henriques@marinha.pt)  
(2) Escola Nacional de Saúde Pública; Centro de Investigação em Saúde Pública.

**Resumo:** Em Portugal, a maioria dos adultos apresenta défice de vitamina D. Os militares devem estar prontos para o serviço, estão sujeitos a exigências físicas e mentais, e realizam tarefas em contextos particulares. Este estudo tem por objetivo caracterizar os níveis de vitamina D de militares portugueses. Realizado um estudo transversal retrospectivo, baseado nos doseamentos de vitamina D realizados no Hospital das Forças Armadas (2014 a 2020). A prevalência de suficiência, insuficiência e deficiência de vitamina D foi de, respetivamente, 25,2%, 40,1% e 34,6%. A prevalência de suficiência de vitamina D foi similar nos três ramos da Forças Armadas. Pela primeira vez são apresentados dados sobre os níveis de vitamina D de militares portugueses. Os níveis de vitamina D encontrados causam apreensão, pelo que importa reconhecer que os militares no ativo podem beneficiar da avaliação dos níveis de vitamina D como medida preventiva.

**Palavras-chave:** vitamina D, militares, Forças Armadas.

### 1. INTRODUÇÃO

O papel da vitamina D no desenvolvimento e manutenção da saúde física e mental tem acolhido uma atenção crescente por parte da comunidade científica, sendo reconhecida a existência de uma pandemia de deficiência de vitamina D (Bouillon *et al.*, 2019; Cashman *et al.*, 2016). Um estudo representativo da população adulta portuguesa estimou que apenas 3,6% apresentava suficiência de vitamina D (Duarte *et al.*, 2020).

No adulto, a caracterização dos níveis de vitamina D distingue-se entre suficiência ( $\geq 30$  ng/ml), insuficiência ( $\geq 20$  ng/ml e  $< 30$  ng/ml) e deficiência ( $< 20$  ng/ml) (Direção-Geral da Saúde, 2019). Atualmente o doseamento da 25-hidroxi-vitamina D (25(OH)D) constitui o melhor indicador dos níveis reais de vitamina D (Ferrari *et al.*, 2017; Craveiro *et al.*, 2019).

O estatuto militar implica uma constante disponibilidade e prontidão para o serviço, pelo que o estado de saúde dos militares merece particular atenção e é avaliado pelo menos uma vez por ano. Nesta avaliação médica pode ser pertinente incluir a verificação dos níveis de vitamina D, na medida em que a deficiência de vitamina D tem sido associada à maior incidência e severidade de múltiplas doenças além da osteoporose e raquitismo, como infeções, diabetes, doença cardiovascular, doenças autoimunes, esclerose múltipla, e cancro (Duarte *et al.*, 2020).

Por sua vez, as exigências, físicas e mentais, impostas aos militares podem ter efeitos deletérios na sua saúde, o que suscita a pertinência de conhecer os níveis de vitamina D, especialmente quando integrados em contexto operacional (McCarthy *et al.*,

2019; DiNicola *et al.*, 2016). Neste contexto, os militares estão sujeitos a um risco acrescido de lesões musculoesqueléticas e stress ocupacional (Molloy *et al.*, 2020; Henriques *et al.*, 2019). A própria fase de recruta está associada a uma descida dos níveis de vitamina D e níveis baixos de vitamina D estão associados a uma maior incidência de fraturas de stress em recrutas militares, admitindo-se uma relação causal, e a um atraso na sua cura (Armstrong *et al.*, 2020; Richards e Wright, 2018; Davey *et al.*, 2016; Inklebarger *et al.*, 2014). A par disso, aspetos como o tipo de missões e tarefas que os militares têm de cumprir (p.e. embarque em navios ou submarinos; exercícios noturnos), o vestuário envergado (p.e. camuflado), o regime de trabalho em bordadas ou quartos (i.e. por turnos), entre outros, são penalizadores para os níveis de vitamina D (Gasier *et al.*, 2014; Coppeta *et al.*, 2018).

A síntese endógena mediante exposição cutânea à radiação solar constitui a principal fonte de vitamina D, sendo naturalmente influenciada por fatores geográficos (p.e. latitude), temporais (p.e. estação do ano), individuais (p.e. pigmentação da pele), comportamentais (p.e. vestuário) e ambientais (p.e. nebulosidade) (Craveiro *et al.*, 2020; Voo *et al.*, 2020). Na população adulta portuguesa, o doseamento no inverno ou primavera, a idade mais avançada e o género feminino foram características associadas a um maior risco de deficiência de vitamina D (Duarte *et al.*, 2020).

Admite-se que o risco aumentado de hipovitaminose D é transversal aos três ramos das Forças Armadas – Marinha, Exército e Força Aérea, mas ainda não são conhecidos dados referentes aos militares portugueses (Sivakumar *et al.*, 2019).

Face ao exposto, este estudo pretende caracterizar os níveis de vitamina D de militares portugueses.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Estudo observacional transversal retrospectivo, descritivo e analítico, realizado a partir dos registos clínicos da totalidade de doseamentos de 25(OH)D realizados no Hospital das Forças Armadas desde 02 de maio de 2014 até 17 de novembro de 2020. O estudo foi realizado de acordo com a Declaração de Helsínquia mediante autorização do Diretor do Hospital das Forças Armadas.

A base de dados, após revisão e validação do conteúdo, apresentava variáveis referentes ao doseamento de 25(OH)D (valor absoluto, data do doseamento) e ao respetivo utente (número de laboratório anonimizado, situação (internado vs. ambulatório), género (masculino vs. feminino), idade (em anos), estatuto (militar vs. civil) e ramo das forças armadas (Marinha vs. Exército vs. Força Aérea). Os doseamentos de 25(OH)D foram realizados por quimioluminescência no equipamento Alinity® (Abbott) em Lisboa e no equipamento ADVIA Centaur XP® (Siemens) no Porto.

Primeiro foram excluídos os utentes internados, em virtude da sua situação particular de confinamento. Depois foi incluído apenas o primeiro doseamento de cada utente para mitigar o efeito de eventuais medidas terapêuticas. Posteriormente foram excluídos sequencialmente utentes sem referência do estatuto; sem idade; menores, por não haver militares menores; utentes reformados, assumindo como idade de reforma os 66 anos; utentes estrangeiros; e utentes civis.

A variável idade é apresentada em grupos de 10 anos para facilitar a apresentação dos resultados. A partir do valor do doseamento foram criadas três categorias de níveis de vitamina D (deficiência, insuficiência e suficiência) de acordo com a norma da Direção-Geral da Saúde (<20 ng/ml, ≥20 ng/ml e <30 ng/ml, e ≥30 ng/ml) para viabilizar a concretização dos objetivos do estudo.<sup>4</sup> A data do doseamento derivou na variável estação do ano do doseamento (Primavera, Verão, Outono e Inverno) tendo em conta o dia do início de cada estação nos anos 2014 a 2020 segundo o Observatório Astronómico de Lisboa.

As variáveis categóricas são apresentadas por frequência absoluta e relativa. Utilizou-se o teste  $\chi^2$  de Pearson para avaliação da distribuição das variáveis pelas categorias de vitamina D e o teste de comparação de proporções para comparação de prevalências homólogas. Nestas análises foram excluídos os militares sem informação do respetivo ramo. O nível de significância considerado é de 5%. Para a análise estatística utilizou-se o programa estatístico IBM® SPSS® Statistics v. 26.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Caracterização da amostra

Dos 12960 doseamentos disponíveis, após aplicação dos critérios de exclusão e inclusão, obteve-se uma amostra constituída por 1744 militares. A Tabela I sumariza as características dos militares e localiza temporalmente o respetivo doseamento de 25(OH)D.

Tabela I – Caracterização da amostra (n=1744).

		Frequência	
		Absoluta (N)	Relativa (%)
<b>Género</b>	<b>Masculino</b>	1472	84,4
	<b>Feminino</b>	272	15,6
<b>Idade</b>	<b>18-29 anos</b>	180	10,3
	<b>30-39 anos</b>	246	14,1
	<b>40-49 anos</b>	298	17,1
	<b>50-59 anos</b>	700	40,1
	<b>60-65 anos</b>	320	18,3
<b>Ramo*</b>	<b>Marinha</b>	555	31,8
	<b>Exército</b>	726	43,7
	<b>Força Aérea</b>	421	24,1
<b>Estação do ano</b>	<b>Verão</b>	396	22,7
	<b>Outono</b>	502	28,8
	<b>Inverno</b>	465	26,7
	<b>Primavera</b>	381	21,8

\* 6 militares sem Ramo definido (0,3%).

### 3.2. Caracterização dos níveis de vitamina D

A prevalência de suficiência, insuficiência e deficiência de vitamina D foi de, respetivamente, 25,2%, 40,1% e 34,6%.

A distribuição pelas três categorias de vitamina D foi significativamente diferente na variável estação do ano (valor p do Teste  $\chi^2$  de Pearson <0,001).

A prevalência de suficiência de vitamina D nas mulheres (vs. homens) e a prevalência de deficiência de vitamina D nas idades 50-59 anos (vs. 30-39 anos) foram significativamente superiores.

A prevalência de suficiência de vitamina D foi similar nos três ramos da Forças Armadas (Tabela II).

Tabela II – Caracterização dos níveis de vitamina D por ramo.

	Suficiência		Insuficiência		Deficiência	
	N	%	N	%	N	%
<b>Marinha</b>	140	25,2	209	37,7	206	37,1
<b>Exército</b>	194	25,5	324	42,5	244	32,0
<b>Força Aérea</b>	105	24,9	163	38,7	153	36,3

## 4. DISCUSSÃO

Neste estudo verificou-se que apenas um quarto dos militares apresenta suficiência de vitamina D.

Os militares, maioritariamente homens (cerca de 90% dos efetivos militares são homens), apresentaram uma distribuição por ramo condizente com a quantidade de efetivos alocados aos mesmos (Exército > Marinha > Força Aérea).

O facto de mais de metade dos militares ter idade igual ou superior a 50 anos revela que a necessidade do doseamento da vitamina D surge em idades mais avançadas, eventualmente em linha com a recomendação de que o mesmo, não estando preconizado como rastreio oportunístico, pode ser considerado em determinadas situações devidamente fundamentadas (Direção-Geral da Saúde, 2019). Não obstante, importa reconhecer que os militares em geral, e alguns grupos de militares em particular, podem beneficiar da avaliação dos níveis de vitamina D como medida preventiva enquadrada no âmbito da saúde operacional enquanto vertente da saúde ocupacional.

Relativamente à caracterização dos níveis de vitamina D dos militares, o perfil de distribuição entre suficiência (25,2% vs. 3,6%), insuficiência (40,1% vs. 29,8%) e deficiência (34,6% vs. 66,6%) é francamente mais favorável que o de um estudo representativo da população adulta portuguesa (Duarte *et al.*, 2020). Ainda assim, não deixa de causar apreensão e suscitar a necessidade de equacionar medidas, individuais e/ou coletivas, para reverter esta situação, desde a promoção da exposição solar e aumento da literacia em saúde sobre vitamina D, até ao aumento da diversificação alimentar, fortificação alimentar ou suplementação (Buttriss e Lanham-New, 2020). Este passo deve ser concretizado nos três ramos das Forças Armadas, sem prejuízo de se considerar uma diretiva única, porventura após a realização de um estudo baseado numa amostra representativa.

Neste estudo, a prevalência de suficiência de vitamina D foi significativamente superior nos militares do género feminino, o que pode estar relacionado com o simples facto de serem mais novas (94,8% com idade <50 anos vs. 31,6% nos homens).

Este estudo dá um primeiro contributo para o conhecimento dos níveis de vitamina D dos militares portugueses, reunindo dados de todos os doseamentos de 25(OH)D realizados no Hospital das Forças Armadas. Todavia, sendo baseado numa amostra de conveniência não permite a generalização dos resultados. Importa referir o desconhecimento da ocupação efetiva dos militares: a situação de reforma foi definida pela idade cronológica e os militares podem estar na situação de reserva, fora da efetividade de serviço. Além disso, a ausência de dados relativos a outras variáveis que modulam a concentração sérica da vitamina D, designadamente, tempo de exposição solar, fototipo de pele, dieta e suplementação, limita a interpretação dos resultados.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com o nosso conhecimento este é o primeiro estudo sobre os níveis de vitamina D de militares portugueses. As exigências profissionais dos militares no ativo suscitam a pertinência de serem tomadas medidas conducentes à otimização dos seus níveis de vitamina D.

### Agradecimentos

Aos Chefes dos Serviços de Patologia Clínica do Hospital das Forças Armadas, Coronel Farmacêutico Manuel António Ramalho da Silva (Lisboa) e Dr.ª Fátima Maria Rodrigues Pinto Sousa (Porto).

Ao Chefe do Gabinete de Apoio ao Diretor do Hospital das Forças Armadas, Tenente-Coronel Farmacêutico Paulo Fernando Coelho da Cruz.

### REFERÊNCIAS

- Armstrong, R. A., Davey, T., Allsopp, A. J., Lanham-New, S. A., Oduzoa, U., Cooper, J. A., Montgomery, H. E., & Fallowfield, J. L. (2020). Low serum 25-hydroxy Vitamin D status in the pathogenesis of stress fractures in military personnel: an evidenced link to support injury risk management. *PLoS ONE*, 15(3), 1–15.
- Bouillon, R., Marcocci, C., Carmeliet, G., Bikle, D., White, J. H., Dawson-Hughes, B., Lips, P., Munns, C. F., Lazaretti-Castro, M., Giustina, A., & Bilezikian, J. (2019). Skeletal and extraskelatal actions of vitamin D: current evidence and outstanding questions. *Endocrine Reviews*, 40(4), 1109–1151.
- Buttriss, J. L., & Lanham-New, S. A. (2020). Is a vitamin D fortification strategy needed? *Nutrition Bulletin*, 45(2), 115–122.
- Cashman, K. D., Dowling, K. G., Škrabáková, Z., Gonzalez-Gross, M., Valtuena, J., De Henauw, S., Moreno, L., Damsgaard, C. T., Michaelsen, K. F., Mølgaard, C., Jorde, R., Grimnes, G., Moschonis, G., Mavrogianni, C., Manios, Y., Thamm, M., Mensink, G. B. M., Rabenberg, M., Busch, M. A., ... Kiely, M. (2016). Vitamin D deficiency in Europe: pandemic? *American Journal of Clinical Nutrition*, 103(4), 1033–1044.
- Coppeta, L., Papa, F., & Magrini, A. (2018). Are shiftwork and indoor work related to D3 Vitamin deficiency? A systematic review of current evidences. *Journal of Environmental and Public Health*, 2018(8468742), 1–7.
- Craveiro, V., Araújo, J., Santos, A., & Ramos, E. (2019). Vitamin D: from the pro-hormone to the biological actions. *Acta Portuguesa de*

- Nutrição*, 19, 50–54.
- Davey, T., Lanham-New, S. A., Shaw, A. M., Hale, B., Cobley, R., Berry, J. L., Roch, M., Allsopp, A. J., & Fallowfield, J. L. (2016). Low serum 25-hydroxyvitamin D is associated with increased risk of stress fracture during Royal Marine recruit training. *Osteoporosis International*, 27(1), 171–179.
- DiNicola, A. F., DiNicola, P. J., & Sanchez, L. (2016). Need for routine vitamin D screening in military personnel. *Military Medicine*, 181(9), 1163–1164.
- Direção-Geral da Saúde. (2019). *Norma da Direção-Geral da Saúde (004/2019): prevenção e tratamento da deficiência de vitamina D*.
- Duarte, C., Carvalheiro, H., Rodrigues, A. M., Dias, S. S., Marques, A., Santiago, T., Canhão, H., Branco, J. C., & da Silva, J. A. P. (2020). Prevalence of vitamin D deficiency and its predictors in the portuguese population: a nationwide population-based study. *Archives of Osteoporosis*, 15(36), 1–11.
- Ferrari, D., Lombardi, G., & Banfi, G. (2017). Concerning the vitamin D reference range: pre-analytical and analytical variability of vitamin D measurement. *Biochemia Medica*, 27(3), 1–14.
- Gasier, H. G., Gaffney-Stomberg, E., Young, C. R., McAdams, D. C., Lutz, L. J., & McClung, J. P. (2014). The efficacy of vitamin D supplementation during a prolonged submarine patrol. *Calcified Tissue International*, 95(3), 229–239.
- Henriques, M., Neves, D., Magalhães, R., Simas, F., Albergaria, F., Diniz, M., & Bronze, L. (2019). Stresse ocupacional em contexto operacional militar naval. *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional*, 7, 15–27.
- Inklebarger, J., Griffin, M., Taylor, M. J. D., & Dembry, R. B. (2014). Femoral and tibial stress fractures associated with vitamin D insufficiency. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 160(1), 61–63.
- McCarthy, M. S., Elshaw, E. B., Szekely, B. M., & Raju, D. (2019). A prospective cohort study of vitamin D supplementation in AD soldiers: preliminary findings. *Military Medicine*, 184, 498–505.
- Molloy, J. M., Pendergrass, T. L., Lee, I. E., Chervak, M. C., Hauret, K. G., & Rhon, D. I. (2020). Musculoskeletal injuries and United States Army readiness part I: overview of injuries and their strategic impact. *Military Medicine*, 185(9–10), E1461–E1471.
- Richards, T., & Wright, C. (2018). British Army recruits with low serum vitamin D take longer to recover from stress fractures. *Journal of the Royal Army Medical Corps*, 2, 240–242.
- Sivakumar, G., Koziarz, A., & Farrokhyar, F. (2019). Vitamin D supplementation in military personnel: a systematic review of randomized controlled trials. *Sports Health*, 11(5), 425–431.
- Voo, V. T. F., Stankovich, J., O'Brien, T. J., Butzkueven, H., & Monif, M. (2020). Vitamin D status in an Australian patient population: a large retrospective case series focusing on factors associated with variations in serum 25(OH)D. *BMJ Open*, 10(3), 1-10.

# MODELOS DE MISTURA COM CRESCIMENTO LATENTE: APLICAÇÃO NO TREINO AERONÁUTICO MILITAR

**Autores: A. Gomes (1) e J. G. Dias (2)**

- (1) Academia da Força Aérea e Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)  
apgomes@academiafa.edu.pt
- (2) Instituto Universitário de Lisboa (ISCTE-IUL)

## Resumo:

Os modelos de mistura com crescimento latente consistem numa abordagem estatística aplicada a dados longitudinais, permitindo agrupar em classes, indivíduos que partilhem padrões longitudinais similares. O principal objetivo deste estudo consiste em analisar o processo de aprendizagem no treino de pilotos (modelos com crescimento latente), identificar diferentes padrões de crescimento resultantes da heterogeneidade existente (modelo de mistura com crescimento latente), e identificar as variáveis explicativas da variabilidade e do padrão de crescimento. O objeto de estudo é o desempenho no treino de pilotos *ab-initio* (n=297), candidatos à Academia da Força Aérea Portuguesa (avaliados em seis medidas repetidas).

**Palavras-chave:** treino aeronáutico, curvas de aprendizagem, modelos de mistura.

## 1. INTRODUÇÃO

Os custos elevados com o treino e seleção de pilotos têm motivado a procura de melhores preditores de sucesso no treino aeronáutico. Com base em 50 estudos na área de seleção de pilotos, a coordenação motora e a aptidão espacial foram identificadas como os melhores preditores de desempenho em voo (Burke e Hunter, 1995; Burke, *et al.*, 1997; Martinussen, 2003; Martinussen e Torjussen, 1998). Estudos anteriores sobre a validade preditiva dos testes utilizados na seleção de pilotos-aviadores da Força Aérea Portuguesa identificaram os testes de carácter psicomotor e de aptidão espacial como tendo uma boa capacidade preditiva da performance em voo (Bártolo-Ribeiro *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2008, Maroco e Bártolo-Ribeiro, 2013). Nas últimas décadas, também ficou evidenciado que as capacidades sociais são tão importantes para uma carreira de pilotagem bem-sucedida quanto as capacidades cognitivas e psicomotoras, no entanto, os estudos na área de seleção de pilotos enfatizaram principalmente os testes psicométricos (Maschke, 2004; Stokes e Bohan, 1995; Hoermann e Goerke, 2014). A importância de aumentar o foco na personalidade e nas aptidões interpessoais dos candidatos não se limita à seleção de pilotos no meio civil e o tema da personalidade e das aptidões interpessoais tendo sido ativamente estudado no sucesso dos pilotos militares (Campbell *et al.*, 2010; Damos, 2014; King, 2014).

Ao estudar o sucesso no treino, é bastante usual depararmo-nos com critérios que foram artificialmente transformados, sendo este frequentemente operacionalizado através da aptidão/inaptidão em voo. Por exemplo, estudos anteriores sobre a validade preditiva da performance em voo, utilizam maioritariamente critérios (variáveis dependentes) dicotómicos, operacionalizados através da aptidão/inaptidão em voo utilizando modelos de regressão logística ou análise discriminante (Maroco & Bártolo-Ribeiro, 2013; Roe, 2008; Weissmuller & Damos, 2014). Broach (2014) sugere que o critério de aptidão/inaptidão poderá não ser a melhor escolha, sugerindo a utilização do grau de proficiência em voo como critério mais adequado.

## 2. MODELOS DE MISTURA COM CRESCIMENTO LATENTE

Os *modelos com crescimento latente* (MCL) focam-se essencialmente na modelação de curvas de crescimento, modelando simultaneamente diferenças intra-individuais (um indivíduo ao longo do tempo) e inter-individuais (diferença entre as curvas para os vários indivíduos da amostra). É ainda assumido que a amostra provém de uma única população homogénea. Contudo, o pressuposto de homogeneidade nos parâmetros de mudança nem sempre é válido, e se esta heterogeneidade for ignorada, as estimativas podem resultar seriamente enviesadas (Kreuter e Muthén, 2008).

Muthén and Shedden, (1999) propuseram o modelo de mistura com crescimento latente (MMCL) como

extensão ao MCL, permitindo uma estrutura de clusters na modelação. Este tipo de modelos é considerado como uma segunda geração de modelos de equações estruturais com variáveis latentes, ao permitir além de variáveis latentes contínuas, também variáveis latentes discretas que definem uma tipologia de grupos e permite modelar populações heterogéneas. É possível estimar a probabilidade de pertença à classe em função de um conjunto de variáveis explicativas.

A aplicação de *modelos de mistura com crescimento latente* (MMCL) a dados longitudinais oferece uma generalização importante dos modelos de crescimento convencionais, permitindo a identificação de diferentes padrões de crescimento, permitindo melhorias significativas nos estudos preditivos.

O MMCL é apresentado na Figura 1, tendo como base o trabalho de Muthén e Shedden (1999). Este modelo contém uma combinação de variáveis latentes contínuas,  $\eta_j$ , i.e., o intercepto e o declive) e uma variável latente categórica C, com K classes,  $C_i = (c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{ik})$  onde  $c_{1k} = 1$  se o indivíduo i pertence à classe k e  $c_{1k} = 0$ , caso contrário. Assume-se uma variável observada contínua em medidas repetidas, neste exemplo gráfico em 6 vagas (y1-y6). A variável latente categórica é utilizada para representar as trajetórias latentes das classes ( $\eta$ ). As classes latentes discretas, tal como as variáveis latentes contínuas podem ser preditas através de variáveis observadas (X). O modelo pode ser decomposto, como qualquer mistura finita, em duas componentes: a explicativa das classes latentes e a distribuição condicional em cada classe latente (Dias, 2004).

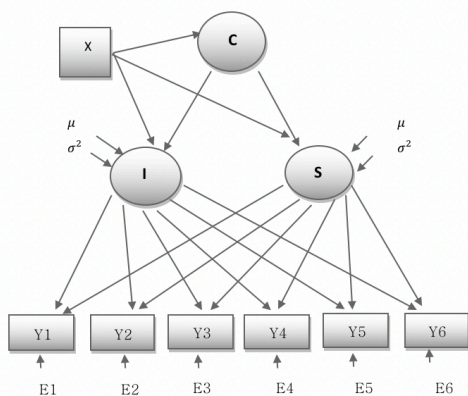


Figura 1 – Representação do modelo

## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Participantes

A amostra é constituída por 297 candidatos que ao longo de 8 anos de concurso, completaram com sucesso as provas psicológicas, médicas e físicas. As seis medidas repetidas são operacionalizadas pelo desempenho obtido nos seis voos do Estágio de

Seleção de Voo (ESV) medido numa escala ordinal. O ESV constitui a última etapa do processo de seleção e tem como principal objetivo a eliminação dos candidatos que não se adaptam às exigências do meio aeronáutico.

### 2.2. Medidas repetidas: estágio de seleção de voo (ESV)

O Estágio de Seleção de Voo (ESV) tem como objetivo eliminar os candidatos que não consigam adaptar-se às exigências da instrução aeronáutica. O ESV decorre numa Esquadra de Instrução Aeronáutica da AFA durante um período de duas semanas. É constituído por uma parte inicial teórica (dois dias de aulas seguidas de um teste eliminatório) e uma segunda parte destinada à avaliação do desempenho do candidato em voo (sete missões). Com exceção da primeira missão, todas as restantes são classificadas pelo Instrutor numa escala de quatro pontos: (4) Elevado, (3) Médio, (2) Sofrível e (1) Insatisfatório. Esse grau de exigência aumenta de missão para missão, sendo particularmente relevante a transição da quarta para a quinta missão. A última missão, o voo de verificação final, é determinante para a classificação de Apto ou Inapto no ESV.

### 2.3. Medidas repetidas: estágio de seleção de voo (ESV)

Corresponde à informação recolhida na fase de avaliação psicológica, integrada no processo de seleção de candidatos realizada no Centro de Psicologia da Força Aérea (CPSIFA), sendo composta por testes, prova de grupo e entrevista psicológica. A avaliação psicológica pretende avaliar duas grandes dimensões: - Personalidade e motivação: esta dimensão é baseada na aplicação de questionários de personalidade, testes projetivos, dinâmica de grupo e entrevista individual e resulta numa nota que varia entre 0 e 20 e que corresponde ao prognóstico de *Adaptabilidade geral*;

- Dimensão percetivo-cognitiva e psicomotora: estas variáveis foram avaliadas no Laboratório de Psicometria Informatizada, integrado no CPSIFA. Foram escolhidas como variáveis predictoras variáveis que não apresentam valores omissos, e que revelaram adequada validade preditiva em estudos anteriores de validação (Bártolo-Ribeiro *et al.*, 2004; Maroco e Bártolo-Ribeiro, 2013).

Foram desta forma incluídas, para além da *Adaptabilidade Geral* três variáveis predictoras:

a. **Mãos** (Hands): O teste requer que o candidato, com base numa mensagem-estímulo áudio identifique quantos objetos estão de acordo com a mensagem. Esta tarefa requer a tradução da informação verbal em informação visual, sendo essencialmente uma tarefa de trabalho de memória e

de processamento de informação (People Technologies, 2000);

b. **Interpretação de Instrumentos 2 (INSB2):** É um teste de aptidão espacial, sendo baseado nos instrumentos de avião (Deakin, 2000);

c. **Aparelho Sensório-Motor (SMA - Sensory Motor Apparatus):** É um teste de compensação de trajetória que mede a coordenação motora multilímbica (Deakin, 2000).

### 3. PRINCIPAIS RESULTADOS

Verificou-se a existência de heterogeneidade na população, sendo o modelo de 2 classes o que se ajustou de forma mais adequada aos dados ( $aBIC=3174.285$ ). Verificou-se igualmente que apenas a variável coordenação motora (SMA) revelou um efeito significativo no estado inicial de performance em voo. Por outro lado, a variável *Adaptabilidade Geral* (dimensão relativa à personalidade e motivação) revelou um efeito significativo no estado inicial de performance em voo e também na aprendizagem ao longo de todos os voos. Contudo, nenhuma das variáveis introduzidas no estudo foi capaz de prever a pertença à classe latente.

Os resultados revelam a existência de duas classes latentes: classe latente 1 (66% da amostra) e classe latente 2 (34% da amostra). A classe latente 1 apresenta uma performance inicial em voo superior à classe 2, embora com ligeiro decréscimo de desempenho entre o voo 1 e 3, tem tendência a estabilizar após o terceiro voo. A classe 2 apresenta uma performance inicial em voo inferior à classe 1, com decréscimo de performance no voo 2, mas apresentando um desempenho sempre crescente daqui em diante.

A variável *Adaptabilidade Geral* revelou um efeito significativo no estado inicial da classe latente 1 (como resultado este grupo revelou um desempenho inicial superior) contudo não revelou grande evolução ao longo do tempo. A variável coordenação motora (SMA) revelou um efeito negativo (variável é medida através do número de erros) no estado inicial da classe 2 (esta classe apresenta uma performance inicial em voo mais fraca). A classe latente 2 revelou um efeito significativo da variável *Adaptabilidade Geral* na curva de aprendizagem ao longo dos 6 voos.

### 4. CONCLUSÕES

É possível concluir que nem todos os candidatos se conseguem adaptar da mesma forma às exigências do meio aeronáutico. Sendo assim, diferentes padrões de aprendizagem e diferentes níveis de aptidão inicial para o voo foram identificados.

Desta forma pode verifica-se que a coordenação motora (SMA) pode explicar as diferenças individuais no estado inicial (classe latente 2) e que a *Adaptabilidade Geral* pode explicar a capacidade de aprendizagem ao longo do tempo na classe 2, e o estado inicial dos candidatos a pilotagem na classe 1. Estes resultados são consistentes com estudos anteriores, nos quais a coordenação motora já tinha sido identificada como uma importante variável preditiva (Bártolo-Ribeiro *et al.*, 2004; Gomes *et al.*, 2008). Tendo em conta os resultados obtidos, salienta-se a importância da introdução de um simulador de voo numa fase prévia à realização do ESV como forma de triar os candidatos e reduzir custos de seleção. Sugere-se em estudos futuros, que a variável *Adaptabilidade Geral* seja decomposta em fatores de motivação e personalidade individuais, como por exemplo: estabilidade emocional, comunicação, combatividade, de forma a que seja possível identificar variáveis específicas que permitam explicar o desempenho em voo.

Este tipo de modelo (MMCL) revelou que os preditores nem sempre apresentam o mesmo impacto no desempenho de todos os candidatos, e para além desta área específica, existem diversas áreas de atuação que beneficiariam com utilização deste modelo tal como educação, medicina, psicologia, possibilitando novas possibilidades de modelar e estudar variáveis longitudinais.

### Agradecimentos

Agradece-se o apoio institucional da Academia da Força Aérea (AFA).

### REFERÊNCIAS

- Bártolo-Ribeiro, R., Leal, R., Lafuente, D., Fonseca, M. J., Almeida, V., Piedade, P., Jamal, S., Antunes, A., & Valente, A. (2004). Validação de duas baterias de testes informatizados na seleção de pilotos militares. *Revista de Psicologia Militar*, 15, 193 – 208.
- Burke, E. F. & Hunter, D.R. (1995). *Handbook of Pilot Selection*. England: Avebury Aviation.
- Burke, E., Hobson, C., & Colin, L. (1997). Large sample validations of three general predictors of pilot training success. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7(3), 225-234.
- Campbell, J. S., Castaneda, M., & Pulos, S. (2010). Meta-analysis of personality assessments as predictors of military aviation training success. *International Journal of Aviation Psychology*, 20, 92–109.
- Damos, D. L. (2014). Editor's preface to the special issue on pilot selection. *International Journal of Aviation Psychology*, 24(1), 1-5.

- Deakin, P. (2000). *Officer and Aircrew Selection Centre Aptitude Test Manuals*. Directorate of Recruitment and Selection: Royal Air Force.
- Dias, J.G. (2004), *Finite Mixture Models. Review, Applications, and Computer-intensive Methods* (Tese de Doutoramento), Universidade de Groningen, Holanda.
- Gomes, A. Bárto-lo-Ribeiro, R., e Maroco, J. (2008). Utilização de redes neuronais, análise discriminante e regressão logística como sistemas classificatórios na seleção de pilotos militares. *Revista de Psicologia Militar*, 17, 117 – 132.
- Hoermann, H., Goerke, P. (2014). Assessment of social competence for pilot selection. *International Journal of Aviation Psychology*, 24(1), 6-28.
- King, R. E. (2014). Personality (and psychopathology) assessment in the selection of pilots. *International Journal of Aviation Psychology*, 24(1), 61-73.
- Kreuter, F. e B. Muthén (2008) Analyzing criminal trajectory profiles: Bridging multilevel and group-based approaches using growth mixture modeling. *Journal of Quantitative Criminology*, 24, 1-31.
- Maschke, P. (2004). *Personality evaluation of applicants in aviation*. In K. Goeters (Ed.), *Aviation Psychology: Practice and Research* (pp. 141–152). Hampshire, England: Ashgate Publishing Company.
- Maroco, J. e Bárto-lo-Ribeiro, R. (2013). Selection of Air Force Pilot Candidates: A Case Study on the Predictive Accuracy of Discriminant Analysis, Logistic Regression, and Four Neural Network Types, *International Journal of Aviation Psychology*, 23, 130-152.
- Martinussen, M. (2003). Psychological measures as predictors of military training performance. *The International Journal of Personality Assessment*, 80(1), 87-98.
- Martinussen M. e Torjussen, T. (1998). Pilot selection in the Norwegian Air Force: A validation and meta-analysis of the test battery, *The International Journal of Aviation Psychology*, 8(1), 33-45.
- Muthén, B. e Shedden, K. (1999). Finite mixture modeling with mixture outcomes using the EM algorithm. *Biometrics*, 55, 463-469.
- People Technologies. (2000). *PILAPT – The Pilot Aptitude Tester Handbook* (Edition 1.0). Kent, UK.
- Roe, R. (2008). Time in applied psychology. *European Psychologist*, 13(1), 37-52.
- Stokes, A. F. e Bohan, M. (1995). Academic proficiency, anxiety, and information-processing variables as predictors of success in university flight training. Proceedings of the 8th International Symposium on Aviation Psychology (pp. 1107-1112). Columbus: The Ohio State University.
- Weissmuller, J. J. e Damos, D. L. (2014). Improving the pilot selection system: Statistical approaches and selection processes. *International Journal of Aviation Psychology*, 24(2), 99-118.

## Flexibilizar o serviço militar: Um estudo exploratório da conciliação trabalho-vida dos/as militares da Força Aérea

**Autores:** L. Ramos (1), S. P. Gonçalves (2), N. Martins (1)

(1) Academia da Força Aérea, Granja do Marquês, 2715-311 Pêro Pinheiro, Portugal  
[lramos@academiafa.edu.pt](mailto:lramos@academiafa.edu.pt)

(2) ISCSP - Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Universidade de Lisboa, R. Almerindo Lessa, 1300-663 Lisboa, Portugal

**Resumo:** Com o regresso das pessoas ao local de trabalho, após a implementação de medidas de contenção da pandemia COVID-19, surge na Força Aérea um novo paradigma de conciliação trabalho-vida.

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade de implementação de regimes flexíveis na Força Aérea. Estudou-se o teletrabalho, o horário flexível e a semana condensada.

Em termos metodológicos, é um estudo exploratório de natureza qualitativa. Conduziram-se nove entrevistas semiestruturadas e recorreu-se ao método de análise temática de Braun e Clarke (2006).

Os resultados apuraram uma viabilidade positiva condicional para a implementação de regimes flexíveis, destacando-se a preferência por regimes híbridos. Por fim, os resultados demonstraram limitações devido à escassez de recursos humanos e à natureza incompatível das funções com os regimes flexíveis.

As conclusões deste estudo realçam a necessidade de diretrizes claras quanto ao recurso a regimes flexíveis e fornece uma base de mudança da legislação na Força Aérea.

**Palavras-chave:** Força Aérea, COVID-19, regimes flexíveis, teletrabalho, horário flexível, semana condensada.

### 1. INTRODUÇÃO

O equilíbrio trabalho-vida tem ganhado uma especial atenção, fruto da recente crise pandémica resultante da transmissão da doença do Coronavírus (COVID-19), a Força Aérea (FA) adotou o teletrabalho e mandou vários/as militares para os respetivos domicílios para exercerem as suas funções remotamente (Despacho n.º 22/2020, de 16 de março de 2020).

Volvidos mais de dois anos após a implementação do teletrabalho, é necessária uma análise atenta, por forma a perceber os benefícios e os riscos percebidos pelos/as militares que experienciaram este regime e se poderá a FA aproveitar a oportunidade de utilizar regimes flexíveis de trabalho que beneficiem a instituição e as pessoas. Nesta conjectura, este estudo teve como objetivo geral (OG) compreender a viabilidade de implementação de um regime flexível do serviço militar na Força Aérea. Os regimes flexíveis abordados neste estudo foram o teletrabalho, o horário flexível e a semana condensada. Para atingir este objetivo, o estudo propôs três objetivos específicos (OE):

OE1 – Conhecer os fatores que influenciam a conciliação trabalho-vida nos/as militares da Força Aérea.

OE2 - Aprofundar nas experiências dos/as militares da Força Aérea durante o período em que estiveram a prestar serviço remoto.

OE3 - Perceber a perceção dos/as militares quanto à viabilidade das medidas de flexibilização do serviço na Força Aérea.

Embora o paradigma da relação trabalho-vida seja um tópico popular no seio da literatura, a nível nacional, poucos estudos tentaram solucionar os problemas evidenciados com estratégias e programas “*family friendly*”, nas organizações. Em adição, ainda menos estudos conjugaram na análise o contexto particular do setor da defesa nacional, cujo sucesso depende da capacidade da instituição militar “atrair, incorporar e reter” talento (DGPRM, 2012, p. 5). Por sua vez, nenhum estudo, que tenhamos conhecimento, tentou ainda compreender a relação entre a flexibilização do trabalho (*e.g.*, teletrabalho, horário flexível, semana condensada) e a conciliação trabalho-vida dos militares da FA.

Em termos práticos, o tema estudado pode revelar-se pertinente, pois permite desenvolver conhecimento que irá apoiar a tomada de decisão e auxiliará a definição de linhas de ação e políticas mais informadas, justas e inclusivas. De reforçar também o interesse público a nível nacional e internacional nesta matéria. Ao nível nacional, está alinhado com a agenda do Plano Setorial da Defesa Nacional para a

Igualdade 2022 – 2025 (PSDNI), que se foca na promoção da igualdade de oportunidade entre mulheres e homens e na conciliação entre a vida profissional, pessoal e familiar<sup>1</sup>. Ao nível internacional, está alinhado com a Resolução do Conselho de Segurança das Nações Unidas 1325 (RCSNU 1325) sobre as mulheres, a paz e a segurança e a agenda estratégica da Organização do Tratado do Atlântico Norte (NATO) de inclusão, diversidade e perspetiva de implementação de políticas de conciliação trabalho-vida.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Conceito de conflito trabalho-vida

Greenhaus e Beutell (1985) caracterizaram o conflito trabalho-vida como o resultado da incompatibilidade das exigências dos papéis da vida profissional, pessoal e familiar em termos de tempo, tensão e comportamento. Pode ocorrer em ambas as direções e de forma assimétrica. Isto é, pode ocorrer no sentido do trabalho para a vida pessoal e familiar e no sentido da vida pessoal e família para o trabalho (Kossek e Lee, 2017; Kossek e Ozeki, 1998).

### 2.2. Consequências do conflito trabalho-vida

Os autores Allen *et al.* (2000) verificaram que as consequências mais representativas no domínio profissional foram: intenção de *turnover*, insatisfação no trabalho e baixo compromisso organizacional. Por outro lado, o efeito do conflito trabalho-vida nas variáveis absentismo e desempenho profissional não foram significativas. No domínio familiar, as consequências na vida pessoal e familiar mais significativas foram: insatisfação na vida pessoal, conjugal e familiar. Foram também identificadas relações entre o conflito trabalho-vida e a saúde mental ou *stress: burnout*; depressão, com maior incidência nas mães profissionais; sintomas físicos (*e.g.*, falta de apetite e fadiga) e sintomas psicológicos (*e.g.*, transtorno, frustração, tensão e ansiedade).

### 2.3 Práticas de conciliação trabalho-vida

Na tentativa de mitigar o conflito do trabalho na vida pessoal e familiar e vice-versa, as organizações passaram a disponibilizar medidas denominadas Práticas de Conciliação Trabalho-Vida (PCTV) (Silva *et al.*, 2020). De acordo com Allen (2001) e Guerreiro *et al.* (2006) as PCTV podem ser categorizadas sob a forma de (1) medidas de flexibilização da organização do trabalho ou sob a forma de (2) prestação de serviços e apoio a dependentes. Neste estudo abordou-se o contributo das medidas de flexibilização da organização do

trabalho no tempo (*i.e.*, horário flexível e semana condensada) e no espaço (*i.e.*, teletrabalho).

## 3. METODOLOGIA

Perante a problemática e objetivos deste estudo, optou-se por uma abordagem qualitativa sustentada pela condução de entrevistas semiestruturadas.

### 3.1. Participantes

A população-alvo deste estudo são os/as militares da FA a prestar serviço ativo na organização. Participaram no total nove militares (N=9), com idades que variaram entre os 26 e 46 anos (M=39.6, DP= 5,90); seis do género masculino e três do género feminino. A antiguidade na organização variou entre 7 a 27 anos (M=18.78, DP=6.78). Foram entrevistados sete oficiais e dois sargentos. No espectro da gestão, cinco participantes ocupam funções de chefia e quatro funções de execução.

### 3.2. Análise de dados

O método utilizado para o processo de análise de dados foi a análise temática de Braun e Clarke (2006). A análise temática é um processo que identifica, analisa e reporta padrões (temas) inseridos nos dados.

Este estudo adotou uma abordagem essencialista/realista, para refletir as experiências, os significados e a «realidade» expressada pelos intervenientes (*idem*). Nesse sentido, foi implementada uma análise ao nível semântico, para organizar a informação em temas, para mais tarde serem interpretados. Em adição, foi feita uma análise mista entre o método indutivo e dedutivo. Ou seja, houve situações em que se recorreu a uma abordagem indutiva, isto é, os códigos foram gerados com base nos dados. Em contraste, na abordagem dedutiva os dados foram alinhados em categorias inspiradas pela literatura (*idem*).

### 3.4. Procedimentos para a qualidade do estudo

Perante a subjetividade da análise dos estudos qualitativos, o enfoque do investigador passa por garantir que o processo analítico não é tendencioso e parcial. Deste modo, para assegurar o critério da fidelidade, foi realizado um acordo intercodificadores com um investigador civil externo à organização, por forma a medir o grau de consistência do sistema de categorias criado. Para tal, recorreu-se ao *Kappa de Cohen* (Brennan e Prediger, 1981), tendo-se obtido um valor de 0.82<sup>2</sup>.

Por fim, na fase final das conclusões, os resultados foram devolvidos aos participantes para que pudessem validar se as interpretações feitas pelo

<sup>1</sup> O PSDNI define quatro objetivos estratégicos sendo um destes a “promoção da conciliação da vida profissional, pessoal e familiar e dos direitos de proteção na parentalidade” (Ministério da Defesa Nacional, 2022, p. 9).

<sup>2</sup> Embora seja uma divisão arbitrária, Landis e Koch (1977) consideram que níveis de concordância acima de 0.81 como “quase perfeito” (p.165).

investigador refletiram as visões e opiniões dos mesmos.

#### 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise temática dos dados resultou na identificação de 17 metatemas. Cada metatema é coadjuvado por subtemas subjacentes, que, por sua vez, estão ligados a outros temas.

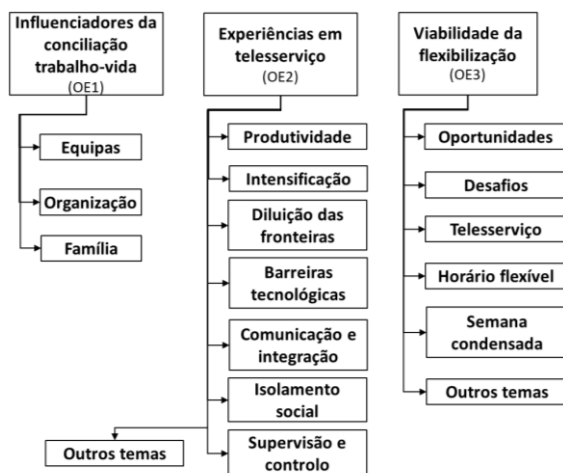


Fig. 1 Mapa temático da conexão entre os objetivos específicos e os metatemas identificados.

##### 3.1. Resultados obtidos referentes ao OE1

Os resultados gravitaram em torno de três temas gerais: as características associadas ao ambiente relacional das equipas no serviço, as características associadas ao contexto organizacional e as características do contexto familiar.

A primeira conclusão mais geral que é possível fazer é que, no serviço militar — assim como na vida civil —, a conciliação trabalho-vida é influenciada por tensões existentes no serviço e no domínio familiar. Em adição, verificou-se que as características únicas da condição militar (*e.g.*, destacamentos, dever de disponibilidade, serviços de alerta) são fatores que potenciam e elevam a perceção de conflito trabalho-vida nos/as militares.

A segunda conclusão que se retirou é que, embora os/as participantes tenham reportado algum nível de conflitualidade entre as esferas sociais, é um conflito que conseguem equilibrar, porque é uma condição inerente à profissão militar. Assim, embora haja conflitualidade entre os papéis sociais, os/as participantes aceitam essa condição com alguma naturalidade por ter sido uma decisão voluntária e consciente.

Apesar de o conflito trabalho-vida ser uma realidade do serviço militar que não consegue ser eliminado, consegue, porém, ser mitigado e gerido. Assim, a terceira conclusão que se extrai está relacionada com o clima de apoio social por parte das chefias que

contribuiu para a avaliação geral positiva dos/as participantes quanto à conciliação trabalho-vida.

##### 3.2. Resultados obtidos referentes ao OE2

Concluiu-se que, na generalidade, a opinião dos/as participantes é positiva, embora o grau de satisfação varie consoante determinados fatores (*e.g.*, idade, n.º de filhos, idade dos filhos, função que ocupa).

Para os elementos com funções de execução, foi notório que o telesserviço aumentou a produtividade (*e.g.*, menos distrações, menos deslocamentos pendulares), melhorou a conciliação trabalho-vida (*e.g.*, mais autonomia e flexibilidade) e melhorou o bem-estar e saúde mental (*e.g.*, redução de *stress* no trabalho, mais proximidade da família). Porém, a exposição prolongada ao telesserviço realçou os seus efeitos adversos, ao nível da intensificação da carga de trabalho (*e.g.*, mais horas de trabalho, maior dificuldade de comunicação e aumento do *stress* na vida familiar), da conciliação trabalho-vida (*e.g.*, pais e mães tiveram maior dificuldade a gerir a diluição das fronteiras trabalho-vida) e da qualidade do serviço (*e.g.*, barreiras tecnológicas, dificuldade de aceder a documentos confidenciais).

Para as chefias, o telesserviço foi um período “muito desafiante e muito trabalhoso” (Participante 3). Em particular, realçaram a maior dificuldade em gerir os elementos das equipas, isto é, a capacidade de as chefias motivarem e estimularem a cultura e clima organizacional, através do convívio e socialização informal, dificulta o envolvimento e vínculo das pessoas na organização — sobretudo nos elementos recém-chegados nas equipas.

##### 3.3. Resultados obtidos referentes ao OE3

De um modo geral, a perceção da viabilidade dos/as participantes dependeu das características funcionais que desempenham. A perceção geral é que os regimes flexíveis se adaptam facilmente às funções que executam tarefas administrativas ou que desempenham funções relacionadas com a área de apoio por serem atividades mais previsíveis, lineares e serem compatíveis com meios tecnológicos remotos. Por sua vez, a perceção das pessoas relativamente à viabilidade das medidas flexíveis nas outras áreas organizacionais dependeu de determinados pressupostos, por exemplo, se existe trabalho que não exija a presença física e se a dinâmica do serviço se coaduna com um regime flexível (*e.g.*, qual é o grau de atipicidade e imprevisibilidade do serviço?). Não havendo atividades presenciais, os regimes de flexibilidade foram percebidos de forma positiva como ferramentas de motivação e compensação que podem ser usados pelas chefias sempre que acharem necessário.

## 5. CONCLUSÃO

Concluiu-se que a resposta ao OG é condicionalmente positiva, visto que está restrito a que determinadas condições se verifiquem.

Em primeiro lugar, referindo os resultados apresentados anteriormente, a viabilidade do regime de flexibilização dependerá de diversos fatores que já foram referidos, desde a função que a pessoa ocupa às características específicas do serviço (*e.g.*, há recursos humanos suficientes para flexibilizar o serviço sem comprometer o cumprimento da missão?). Assim, à exceção do Participante 8 que servia num regime por turnos, todos/as os/as participantes deram um parecer positivo a pelo menos um dos três regimes flexíveis apresentados.

Ao nível funcional, os serviços de apoio e as funções que desempenham tarefas administrativas têm uma viabilidade elevada de implementação das medidas de flexibilização. Por sua vez, as funções relacionadas com a manutenção não têm viabilidade total para desempenhar determinados regimes flexíveis devido à natureza presencial do trabalho. Poderão porventura estar elegíveis, caso desempenhem tarefas administrativas ou caso seja uma medida compensatória pontual da intensidade e atipicidade do serviço, no entanto, seria uma condição avaliada caso-a-caso. Por último, as funções associadas à componente operacional também não garantem viabilidade absoluta para desempenhar qualquer tipo de regime flexível, sobretudo devido à atividade aérea. Nos casos em que a atividade aérea não é fator condicional, esses militares poderão desempenhar as «tarefas de chão» em telesserviço, embora seja uma situação que carece de avaliação situacional. Já o horário flexível e a semana condensada não são viáveis, porque a imprevisibilidade da atividade aérea e a escassez de recursos humanos não garantem que seja um regime exequível de forma sustentável ao longo do tempo.

### 4.1. Limitações e sugestões para futuras investigações

Dada a natureza exploratória qualitativa deste estudo, um aspeto limitativo está relacionado com a impossibilidade de generalizar as conclusões para as restantes realidades da FA. Embora os resultados sejam relevantes do ponto de vista científico e prático, um aspeto que enriquecerá as conclusões deste estudo será o desenvolvimento de um projeto com uma amostra de dimensão superior e representativa da população da FA.

## REFERÊNCIAS

- Allen, T. (2001). Family-Supportive Work Environments: The Role of Organizational Perceptions. *Journal of Vocational Behaviour*, 58(3), 414–435.  
<https://doi.org/10.1006/jvbe.2000.1774>
- Allen, T., Herst, D. E. L., Bruck, C. S., & Sutton, M. (2000). Consequences Associated With Work-to-Family Conflict: A Review and Agenda for Future Research. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(2), 278–308.  
<https://doi.org/10.1037/1076-899B.5.2.278>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101.  
<https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brennan, R. L., & Prediger, D. J. (1981). Coefficient Kappa: Some uses, misuses, and alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699.  
<https://doi.org/10.1177/001316448104100307>
- Despacho n.º 22/2020, de 16 de março de 2020, Medidas de Contingência para a Situação Epidemiológica do Novo Coronavírus - COVID-19 - Pessoal Militar, (2020).
- DGPRM. (2012). *Estudo das Razões de Saída do RV/RC nas Forças Armadas*.  
<https://docplayer.com.br/48675940-Estudo-das-razoes-de-saida-do-rv-rc-nas-forcas-armadas.html>
- Greenhaus, J. H., & Beutell, N. J. (1985). Sources of Conflict between Work and Family Roles. *The Academy of Management Review*, 10(1), 76.  
<https://doi.org/10.2307/258214>
- Guerreiro, M. das D., Lourenço, V., & Pereira, I. (2006). *Boas Práticas de Conciliação entre Vida Profissional e Vida Familiar. Manual para as Empresas (CITE)*.  
<https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/3130>
- Kossek, E. E., & Lee, K.-H. (2017). Work-Family Conflict and Work-Life Conflict. In *Oxford Research Encyclopedia of Business and Management*. Oxford University Press.  
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190224851.013.52>
- Kossek, E. E., & Ozeki, C. (1998). Work-Family Conflict, Policies, and the Job-Life Satisfaction Relationship: A Review and Directions for Organizational Behavior-Human Resources Research. *Journal of Applied Psychology*, 83(2), 139–149.  
<https://doi.org/10.1037/0021-9010.83.2.139>
- Ministério da Defesa Nacional. (2022). *Plano Setorial da Defesa Nacional para a Igualdade 2022 - 2025*.

Silva, I. S., Gonçalves, E., & Costa, D. (2020).  
Conflito trabalho-família: Contributos para a  
sua caracterização e gestão. *Revista E-Psi*,  
2020(3), 56–78. <http://www.revistaepsi.com>

# Fatores de Transferência da Formação Militar de Carreira

Nuno Santos Loureiro

Centro de Investigação e Desenvolvimento, Instituto Universitário Militar. nuno.a.loureiro@gmail.com

**Resumo:** A eficácia da formação é um fator crítico de sucesso para as organizações, sendo relevante o domínio dos fatores que influenciam a transferência efetiva da formação para o local de trabalho.

Tendo como propósito a análise dos fatores que impactam na transferência de formação militar de carreira, este estudo quantitativo analisa os resultados da aplicação do *Learning Transfer System Inventory* a uma amostra de 670 oficiais e sargentos das Forças Armadas, que concluíram cursos de promoção de carreira até 2019.

Os resultados mostram diferenças significativas em função das dimensões demográficas e socioprofissionais da população em estudo (género, ramo, categoria, antiguidade, cargo, curso frequentado e tempo decorrido desde o último curso frequentado). Conclui-se que a percepção de validade de conteúdo e desenho da formação é fator preponderante para a transferência da formação militar de carreira. São também discutidas implicações práticas para os responsáveis de recursos humanos dos ramos das Forças Armadas.

**Palavras-chave:** Educação e Formação de Adultos, Forças Armadas, LTSI, Transferência de Formação.

## 1. INTRODUÇÃO

A eficácia da formação assume-se como um fator crítico de sucesso para as organizações, face aos investimentos necessários e aos resultados esperados. Esta questão é particularmente relevante para as Forças Armadas que têm que conciliar restrições orçamentais com a necessidade de capacitar a sua força de trabalho para enfrentar os desafios de um mundo volátil, incerto, complexo e ambíguo, sabendo-se que a educação militar “helps establish the conditions for military success by creating the intellectual architecture to make military operations more effective” (Toronto, 2015). Assentando essa eficácia, em grande parte, na transferência efetiva da formação para o local de trabalho, revela-se pertinente o domínio dos fatores que a influenciam.

É nesta sequência que se enquadra este estudo, integrado numa investigação mais vasta, em curso, que pretende olhar para a transferência da formação militar de carreira para o local de trabalho, considerando fatores relacionados com as características individuais dos formandos, com o contexto organizacional, com a conceção da formação, a cultura de aprendizagem, o comprometimento organizacional e as expectativas de desenvolvimento da carreira, bem como as relações que se estabelecem entre estes fatores e a intenção de transferir. Essa investigação, concetualmente sustentada no modelo holístico de desenvolvimento dos recursos humanos de Holton (1996), cujo objeto de pesquisa são os cursos estatutários de promoção na carreira militar,

consubstancia-se na identificação e estudo dos fatores que afetam a transferência de aprendizagem para o local de trabalho, ao longo da carreira, nas diferentes etapas do processo de aprendizagem, no contexto organizacional militar, e será realizada em três momentos - antes da formação, no final da formação e seis meses a um ano após a formação – e pretende possibilitar a compreensão sobre como evolui essa influência ao longo do processo formativo.

O presente estudo tem por objetivo analisar os fatores que impactam na transferência da formação militar de carreira, em função do género, ramo, categoria, antiguidade, cargo, curso frequentado e tempo decorrido desde o último curso frequentado. O estudo é, assim, orientado por duas questões de investigação:

Q1: Em que medida as características individuais dos formandos, a conceção da formação e o contexto organizacional impactam na transferência da formação militar de carreira?

Q2: Existirão diferenças estatisticamente significativas nos fatores que impactam na transferência da formação militar de carreira, em função do género, ramo, categoria, antiguidade, cargo, curso frequentado e tempo decorrido desde o último curso frequentado?

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Um dos modelos mais influentes para entender e explicar o processo de transferência da formação foi proposto por Baldwin e Ford (Baldwin & Ford, 1988). Segundo esses autores, a generalização e manutenção do conteúdo da formação é diretamente influenciada por três fatores principais: (1) as

características dos formandos, incluindo as suas capacidades, personalidade e motivação; (2) o ambiente de trabalho através de oportunidades de suporte e aplicação; e (3) a retenção da aprendizagem, que por sua vez é influenciada pelo desenho da formação que incorpora variáveis como os princípios de aprendizagem, sequência e conteúdo da formação.

Complementando o trabalho de Baldwin e Ford, Holton (1996) desenvolveu um modelo holístico, considerando que a transferência da aprendizagem depende de: (1) influências secundárias, como traços de personalidade, autoeficácia e atitudes profissionais; (2) motivação para aprender e transferir; (3) apoio social e organizacional para uma mudança comportamental; e (4) habilidades para aprender e desenho do curso.

Concebido a partir do modelo de Holton (1996), o *Learning Transfer System Inventory* (LTSI) é um questionário concebido para, de forma empírica, avaliar as perceções individuais dos catalisadores e barreiras à transferência da aprendizagem da formação profissional. (Bates et al., 2012, p.550) Permite preencher a lacuna existente na avaliação das aprendizagens e dos fatores que influenciam e afetam a sua transferência para o local de trabalho. Divide-se em três grandes grupos de fatores, designadamente, as características dos formandos, a conceção da formação e as características do contexto de trabalho. É um instrumento que os profissionais de recursos humanos têm à disposição e que poderão utilizar para avaliar potenciais problemas antes da formação, como parte da avaliação de seguimento de programas já estabelecidos, como ferramenta de diagnóstico para investigar os problemas da formação, para orientar intervenções para aumento da transferência, incorporar a avaliação da transferência na avaliação de desempenho dos trabalhadores e para conduzir avaliações de necessidades de formação. (Holton, Bates, & Ruona, 2000)

Diversos investigadores têm relatado provas empíricas que apoiam a estrutura inicial de 16 fatores do LTSI em várias línguas e ambientes culturais diferentes: Bélgica; Alemanha; Grécia; Portugal (Velada et al. 2009); Tailândia; Coreia; e os EUA. Alguns estudos de validação do LTSI noutros países produziram soluções com pequenas variações, mas em grande parte consistentes com a estrutura original: Jordânia; Taiwan; e Ucrânia.

Para abordar as pequenas variações nas soluções encontradas em alguns estudos, Bates, Holton e Hatala (2012) analisaram os dados de arquivo (n = 5.990) recolhidos ao longo de 10 anos de uma variedade de participantes em 17 países usando 14 versões linguísticas diferentes do LTSI. Como resultado de uma série de análises fatoriais exploratórias e confirmatórias, a investigação produziu a versão 4 (LTSIV4), uma versão muito mais curta contendo apenas 48 itens.

Antunes, Nascimento e Bates (2018) validaram o questionário no contexto português (LTSIV4-P), revelando uma nova estrutura de 11 fatores, com o surgimento de vários construtos originais, de ambos os domínios, como *motivação para a transferência*, *expectativas de resultados de desempenho* e *coaching de desempenho*, entre outros.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Participantes e procedimento

O LTSIV4-P, adaptado para contexto militar, foi ministrado a militares, oficiais e sargentos, no ativo, dos quadros permanentes das Forças Armadas. O questionário anónimo foi respondido *online*, em link de acesso disponibilizado através dos portais da Marinha, Exército e Força Aérea e ainda, através de email endereçado a todos os potenciais respondentes. Dos 1008 respondentes, 338 (33,5%) não completaram o questionário, integrando a amostra final 670 respondentes válidos, excedendo o número de respostas por variável recomendado (Hair, Black, Babin, & Anderson, 2019, p. 133) As suas características demográficas e socioprofissionais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização da amostra

		N = 670	%
Género	1-Feminino	50	7,5%
	2-Masculino	620	92,5%
Idade	1-até 35 anos	83	12,4%
	2-36 a 40 anos	115	17,2%
	3-41 a 45 anos	98	14,6%
	4-46 a 50 anos	130	19,4%
	5-mais de 50 anos	244	36,4%
Ramo	1-Marinha	241	36,0%
	2-Exército	259	38,7%
	3-Força Aérea	170	25,4%
Tempo de Serviço Efetivo	1-menos de 6 anos	13	1,9%
	2-de 6 a 13 anos	56	8,4%
	3-de 14 a 25 anos	216	32,2%
	4-de 26 a 35 anos	280	41,8%
	5-mais de 35 anos	105	15,7%
Função militar que exerce:	1-Comando / Direção / Chefia / Chefia técnica	358	53,4%
	2-Estado-maior	154	23,0%
	3-Execução (inclui docência e investigação)	158	23,6%
Habilitações académicas:	1-Secundário ou equivalente	201	30,0%
	2-Bacharelato / Licenciatura	267	39,9%
	3-Doutoramento	11	1,6%
	4-Mestrado	191	28,5%
Mais recente curso frequentado:	1-CPOG	16	2,4%
	2-CPOS	321	47,9%
	3-CPC ou CBC	95	14,2%
	4-CPSC ou CPSCH	165	24,6%
	5-CPSA	73	10,9%

Tempo decorrido após o mais recente curso frequentado:	1-menos de 1 ano	103	15,4%
	2-de 1 a 5 anos	296	44,2%
	3-de 6 a 10 anos	147	21,9%
	4-mais de 10 anos	124	18,5%

Legenda: CPOG - Curso de Promoção a Oficial General; CPOS - Curso de Promoção a Oficial Superior; CPC - Curso de Promoção a Capitão; CBC - Curso Básico de Comando; CPSC/CPSC - Curso de Promoção a Sargento-chefe; CPSA - Curso de Promoção a Sargento-ajudante.

### 3.2 Instrumento de recolha de dados

Quadro 1 – LTSIV4-PM: definições e exemplos (contexto militar)

Categoria	Fator	Definição	N.º de itens
Aptidão	Perceção de Validade de Conteúdo e Design de Transferência (PVC)	Grau em que os militares consideram que o conteúdo do Curso foi desenhado e implementado de forma a prepará-los para a transferência de formação, refletindo exatamente os requisitos das funções dos postos superiores.	4
	Preparação do Formando (PF)	Grau em que os indivíduos estão preparados para participar na formação.	3
	Capacidade Pessoal para Transferir (CPT)	Grau em que os indivíduos têm tempo, energia e o espaço mental no seu trabalho diário para implementar mudanças necessárias à transferência da formação para o local de trabalho.	3
	Autoeficácia de Desempenho (AD)	A crença geral de um indivíduo de que é capaz de mudar o seu desempenho quando assim o desejar.	4
Motivação	Motivação Pessoal para Transferir (MPT)	Direção, intensidade e persistência do esforço na utilização da formação no local de trabalho	8
	Desempenho – Expectativa de Resultados (DER)	A expectativa de que as mudanças no desempenho da função tenham como consequência a obtenção de resultados valorizados pelo indivíduo.	3
Ambiente de Trabalho	Feedback de Desempenho (FD)	Indicadores formais e informais da organização relativamente ao desempenho da função do indivíduo.	3
	Resultados Pessoais Negativos (RPN)	Grau em que os indivíduos acreditam que a não aplicação da formação no local de trabalho tem como consequência a obtenção de resultados que são negativos.	2

Fonte: Adaptado de Velada (2007), Velada, Caetano e Bates (2009), Bates et al. (2012) e Antunes et al. (2018)

### 3.3 Métodos de análise dos dados

Uma vez que o LTSIV4-P-M ainda não foi aplicado em contexto militar, foram efetuadas análises fatoriais exploratórias (AFE), utilizando o SPSS 25, e, posteriormente, análises fatoriais confirmatórias (AFC), utilizando o AMOS 25 para SPSS, para confirmar a estrutura fatorial resultante. A amostra de 670 casos foi dividida aleatoriamente, sendo 334 casos utilizados na AFE e os restantes 336 casos utilizados na AFC. Como o LTSI-V4 apresenta o domínio Específico da Formação (33 itens) e domínio Geral da Formação (15 itens), o rácio casos-por-variável é 10:1 para a AFE e 22:1 para a AFC (Hair et al., 2019). A fiabilidade do instrumento foi analisada através do alfa de Cronbach ( $\alpha$ ), da confiabilidade do construto ( $CR > .70$ ) e da variância média extraída ( $VME > .60$ ).

## 4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Análise Fatorial Exploratória

Para responder à Q11, que pretendia averiguar se a estrutura de fatores da transferência da formação em

Partindo da versão validada para Portugal (LTSIV4-P) por Antunes et al. (2018a), foi efetuada a adaptação do questionário à terminologia militar, posteriormente confirmada por responsáveis militares pelas práticas de recursos humanos e formação, e aplicado a um pequeno grupo de militares para pré-teste qualitativo, de forma a garantir que todos os itens eram compreensíveis. Deste procedimento resultou a versão de aplicação em contexto militar (LTSIV4-P-M). O Quadro 1 apresenta as definições dos fatores.

contexto militar seria consistente com a mais recente versão do LTSI validada para Portugal, os domínios específico e geral da formação foram analisados de forma separada.

#### 4.1.1 Domínio específico da formação

No presente estudo analisaram-se os 33 indicadores no domínio específico da formação sem qualquer definição *a priori*.

A AFE revelou uma estrutura de seis fatores (com *eigenvalue*  $> 1$ ), no entanto, 11 itens apresentaram saturação cruzada superior a .40 ou saturação inferior a .50 pelo que foram removidos. A estrutura final com 6 fatores extraídos e 22 itens, representou cumulativamente 70,55% da variância total ( $> 60\%$ ). A matriz de coeficientes padrão foi usada para examinar a estrutura de fatores dos 23 itens após rotação.

A estrutura fatorial resultante, com 6 fatores, apresenta algumas diferenças substantivas, relativamente à estrutura encontrada por Antunes et al. (2018). Os fatores CPT e PPF emergiram com a mesma composição. Já o fator Resultados Pessoais

Negativos (RPN) saturou apenas em dois itens. Os fatores AS e SS não emergiram na nova estrutura. Por outro lado, surgiram dois novos fatores a que se deu o nome de Motivação Pessoal para Transferir (MPPT), e Perceção de Validade de Conteúdo e Design de Transferência (PVCDDT). As cargas fatoriais dos 20 itens retidos variaram entre .538 e .893, cumprindo o critério de saturação para extração ( $\geq a \pm .50$ ).

Em termos de validade convergente, a confiabilidade do construto (CR), com exceção da PPF (CR = .67), variou de .70 a .90, superando a confiabilidade mínima sugerida de .70 (Hair et al., 2010). Quanto à variância média extraída (VME), nos fatores MPPT, CPT, PVCDDT e RPN foi superior a .50. O fator PPF apresentaram valores abaixo de .50, no entanto, de acordo com Fornell e Larcker (1981), como a confiabilidade dos construtos é maior que .60 a sua validade convergente é ainda adequada.

No que diz respeito à consistência interna, a subescala do domínio específico da formação apresentou um *Alpha* de .875. Os *Alfas* dos fatores extraídos variaram de .929 (MPPT); .860 (PVCDDT); .775 (CPT); .912 (RPN); .686 (PPF). Esta estrutura fatorial no domínio específico da formação apresentou correlações significativas, sendo de realçar a elevada correlação entre a MPPT e a PVCDDT ( $r = .699$ ).

#### 4.1.2 Domínio geral da formação

A estrutura fatorial resultante, com 4 fatores, representando cumulativamente 61,99% da variação total, apresenta algumas diferenças substantivas, relativamente à estrutura encontrada por Antunes et al. (2018). Os fatores FD e DER, emergiram com a mesma composição. O fator AD, presente na estrutura

original (Bates et al., 2012), mas não na de Antunes et al. (2018b), emergiu novamente. O fator ETED não emergiu. As cargas fatoriais dos 15 itens retidos variaram entre .508 e .997, cumprindo o critério de saturação para extração ( $a \geq \pm .50$ ).

No que diz respeito à consistência interna, a subescala do domínio geral da formação apresentou um Alfa de .707. Os Alfas dos fatores extraídos variaram de .85 (FD); .74 (AD); 0,60 (DER). Em termos de validade convergente, a confiabilidade do constructo (CR), com exceção da RM (CR = .61) variou de .73 a .85, superando a confiabilidade mínima sugerida de .70 (Hair et al., 2010). Quanto à variância média extraída (VME), nos fatores FD e AD foi  $\geq a .50$ . O fator AD (VME = 0,41) apresentou valor abaixo de .50, no entanto, de acordo com Fornell e Larcker (1981), como a confiabilidade do constructo é maior que .60 a sua validade convergente é ainda adequada.

Existem correlações significativas no domínio geral da formação, sendo de realçar a elevada correlação entre a AD e a EDR ( $r = .743$ ) e o FD ( $r = .679$ ), a moderada correlação entre a RM e a AD ( $r = .294$ ), e entre a EDR e o FD ( $r = .374$ ). As restantes correlações foram mais modestas.

#### 4.2 Análise Fatorial Confirmatória

As estruturas fatoriais emergentes da AFE, com seis fatores no domínio específico da formação e quatro fatores no domínio geral da formação, foram testadas usando AFC e os resultados sugerem que o modelo tem um ajuste bom, mantendo 22 dos 33 itens originais e 14 dos 15 itens originais. Foram mostrados índices adequados de bondade de ajuste, como se pode ver na Tabela 2.

**Tabela 2 – Comparação dos índices de ajustamento do LTSI-V4-P e a estrutura fatorial do LTSI-V4-P(M), sobre amostra recolhida em contexto militar**

	$\chi^2$	df	X2/df $\leq 2$	RMSEA $\leq 0.08$	SRMR $< 0.08$	CFI $\geq 0.90$	IFI $\geq 0.90$	GFI $\geq 0.90$
<b>Domínio específico da formação</b>								
CFA 8 fatores (Antunes et al., 2018)	333,49	165	2,02	0,089	0,050	0,969	0,969	0,868
CFA 6 fatores (contexto militar)	345,762	190	<b>1,81</b>	<b>0,049</b>	<b>0,059</b>	<b>0,961</b>	<b>0,961</b>	<b>0,919</b>
<b>Domínio geral da formação</b>								
CFA 5 fatores	202,981	80	2,537	0,068	0,059	0,933	0,934	0,924
CFA 4 fatores	144,047	78	<b>1,847</b>	<b>0,051</b>	0,059	0,957	0,942	0,958

#### 4.3 Barreiras e facilitadores da transferência da formação

Um passo crucial para a compreensão e melhoria da transferência de aprendizagem é determinar com precisão os fatores que inibem a transferência em primeiro lugar. Com base nas respostas ao LTSIV4-P-M, foi calculada uma pontuação para cada fator, que foi então classificado como uma barreira forte, barreira, facilitador ou facilitador forte. Assim, a

CPT, AD e DER, aparecem como fortes facilitadores. A PPF, a MPT, o FD e os RPN, surgem como facilitadores. No entanto, o fator PVCDDT recebeu uma classificação de barreira e deve ser analisado, porque indicia que a forma como a formação foi ministrada e a forma como a formação refletiu as exigências do trabalho, influencia negativamente a transferência da aprendizagem para o local de trabalho.

#### 4.4 Análise de diferenças de médias

De seguida analisam-se as diferenças estatisticamente significativas na pontuação média dos fatores tendo em conta as variáveis demográficas e socio-profissionais.

Por género, apenas no fator PVCDT, em que os homens obtiveram uma média mais alta, embora em ambos os casos, com valores baixos.

Por Ramo, as diferenças de médias foram significativas entre a Marinha e o Exército, nos fatores DER, AD e PPF. Entre a Marinha e a Força Aérea, nos fatores DER, MPT e PVCDT. Entre o Exército e a Força Aérea, nos fatores RPN, FD, PPF e PVCDT.

Por categoria (Oficiais e Sargentos) foram registadas diferenças significativas nos fatores RPN, FD e PVCDT.

Quanto ao último curso frequentado, as diferenças entre o CPOG e o CPOS foram significativas nos fatores RPN, PPF, DER e AD. Em todos os fatores, os militares que frequentaram o CPOG apresentaram médias mais altas do que aqueles que frequentaram o CPOS, o que indica uma melhor preparação, uma maior crença na sua autoeficácia e maiores expectativas em relação aos resultados. São também os que mais acreditam que a não aplicação da formação no local de trabalho tem a consequência de obter resultados negativos.

Entre o CPOG e o CPC/CBC foram significativas as diferenças nos fatores RPN, PPF, DER, AD e na MPT. Mais uma vez, em todos os fatores, os militares que frequentaram o CPOG apresentaram uma média superior à dos que frequentaram o CPC/CBC. No entanto, não parecem ter muita motivação para transferir as aprendizagens.

Entre o CPOG e o CPSCH, foram significativas as diferenças nos fatores RPN, DER, AD e MPT. Mais uma vez, em todos os fatores, os militares que frequentaram o CPOG apresentaram uma média superior à de quem frequentou o CPSCH, com exceção da motivação pessoal para a transferência de aprendizagem. Exatamente o mesmo ocorre quando se comparam as diferenças médias entre o CPOG e o CPSA.

Entre o CPOS e o CPC/CBC, foram significativas as diferenças de médias apenas nos fatores DER e PPF. Entre o CPC/CBC e o CPSA, foram significativas apenas as diferenças de médias no fator FD.

Finalmente, no que diz respeito às diferenças de médias tendo em conta o tempo decorrido após o último curso frequentado, foram significativas entre os militares que concluíram o curso há menos de um ano e os que o concluíram há mais de 10 anos nos fatores MPT e PVCDT. Os resultados mostram que os que concluíram o curso há menos de um ano têm menor MPT, PPF e PVCDT.

#### 4.4 Análise das correlações entre fatores

A estrutura fatorial mostrou algumas correlações positivas significativas. Correlações fortes entre a PVCDT, MPT e RPN e a transferência de formação. Também entre os RPN e a MPT e a PVCDT. E ainda entre a PVCDT e MPT. Correlações moderadas, entre o DER, MPT, RPN, FD, AD e PVCDT. Os restantes fatores mostraram correlações significativas baixas.

### 5. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram uma estrutura fatorial latente diferente da versão validada para Portugal, ficando o LTSIV4-P-M com oito fatores e 30 itens. Ao validar uma versão portuguesa para contexto militar (LTSIV4-P-M), fica disponível uma ferramenta mais simplificada para a identificação dos fatores críticos da eficácia da formação militar de carreira, contribuindo ainda para o reforço dos estudos transculturais, designadamente num contexto pouco explorado como o militar.

Em conclusão, este estudo permitiu recolher informações sobre os fatores que melhoraram ou interferiram na transferência de aprendizagem para o contexto de formação militar. Embora com carácter simplesmente exploratório e o número de formandos relativamente pequeno, criou-se uma nova lente para ver e moldar as futuras iniciativas de formação.

Explorar as barreiras e facilitadores potenciais para a transferência de aprendizagem no contexto da educação profissional militar ajudará todo o processo de melhoria na formação militar de carreira.

### REFERÊNCIAS

- Antunes, A., Nascimento, J. L., & Bates, R. A. (2018a). The revised learning transfer system inventory in Portugal. *International Journal of Training and Development*, 22(4), 301–333. <https://doi.org/10.1111/ijtd.12140>
- Antunes, A., Nascimento, J. L., & Bates, R. A. (2018b). *The revised learning transfer system inventory in Portugal*. (December). <https://doi.org/10.1111/ijtd.12140>
- Baldwin, T. T., & Ford, J. K. (1988). Transfer of Training: a Review and Directions for Future Research. *Personnel Psychology*, 41(1), 63–105. <https://doi.org/10.1111/j.1744-6570.1988.tb00632.x>
- Bates, R., Holton, E. F., & Hatala, J. P. (2012). A revised learning transfer system inventory: Factorial replication and validation. *Human Resource Development International*, 15(5), 549–569. <https://doi.org/10.1080/13678868.2012.726872>
- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Evaluating Structural Equation Models with

- Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, 18(1), 39. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis* (8.<sup>a</sup> ed.). Cengage Learning, EMEA.
- Holton, E. F. (1996). The flawed four-level evaluation model. *Human Resource Development Quarterly; Spring*, 7(1). Obtido de <http://www.uio.no/studier/emner/matnat/ifi/IN F3280/v13/undervisningsmateriale/holton1996 flawedfourleveevaluationmodel.pdf>
- Holton, E. F., Bates, R. A., & Ruona, W. E. A. (2000). Development of a generalized learning transfer system inventory. *Human Resource Development Quarterly*, 11(4), 333–360. [https://doi.org/10.1002/1532-1096\(200024\)11:4<333::AID-HRDQ2>3.0.CO;2-P](https://doi.org/10.1002/1532-1096(200024)11:4<333::AID-HRDQ2>3.0.CO;2-P)
- Maroco, J. (2018). *Análise Estatística com Utilização do SPSS*. Pêro Pinheiro.
- Meyers, L. S., Gamst, G., & Guarino, A. J. (2005). *Applied Multivariate Reserach-Design and Interpretation*. Sage Publications Inc.
- Toronto, N. W. (2015). Does Military Education Matter ? *E-International Relations*, 1–9. Obtido de <http://www.e-ir.info/2015/05/26/does-military-education-matter/>
- Velada, A. R. R. (2007). *Avaliação da eficácia da formação profissional: factores que afectam a transferência da formação para o local de trabalho* (Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa). Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa. Obtido de <https://repositorio.iscte-iul.pt/handle/10071/626>

# A anexação da Crimeia em 2014: consequências do conflito

H. Gouveia (1,a) e J. Borges (1,b)

(1) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar

(a) E-mail: gouveia.hmr@exercito.pt

(b) E-mail: jose.borges@academiamilitar.pt

## RESUMO ESTENDIDO

O conflito entre a Rússia e a Ucrânia é sem dúvida o que mais compromete a segurança europeia desde o fim da Segunda Guerra Mundial. A Rússia desafiou o mundo com uma operação ousada, reiniciando unilateralmente um conflito com a Ucrânia no final de fevereiro de 2022. O objetivo deste trabalho é retornar ao ano de 2014 e analisar outra iteração relevante deste conflito: a anexação da Crimeia pela Rússia.

A instabilidade política que a Ucrânia viveu em 2014 foi o detonador que a Rússia precisava para invadir e anexar a Crimeia, apesar de não serem explícitas as razões que levaram Putin a tomar tal decisão. Este trabalho tem como objetivo analisar o conflito da Crimeia identificando motivações e consequências para todas as partes, especialmente Rússia e Ucrânia, e outros responsáveis por garantir a segurança regional, nomeadamente a Europa e a NATO. Paralelamente pretende identificar as razões que levaram Putin a tomar a decisão de invadir a Ucrânia procurando compreender à luz do direito internacional a legitimidade desses atos.

A Ucrânia é o maior país do continente europeu, totalmente situado neste continente. Situado na Europa Oriental, faz fronteira com a Rússia a este e a nordeste, com a Bielorrússia a noroeste, com a Polónia, Eslováquia e Hungria a oeste, com a Roménia e Moldávia a sudoeste e com o Mar Negro e Mar de Azov a sul e sudeste, respetivamente. O país tinha uma população de cerca de 45 milhões de habitantes<sup>1</sup> em 2014, caracterizada pela existência de diferentes etnias, idiomas, religiões, identidades históricas e aspetos culturais (Cunha, 2017, p. 716).

A Península da Crimeia ocupa uma localização estrategicamente importante no Mar Negro e ao longo de sua história foi de interesse geoestratégico para várias forças externas. Em 1783, a Crimeia tornou-se parte do Império Russo e, com o fim do Império Russo em 1917, foi um estado soberano até 1921, quando passou a fazer parte da União Soviética como República Socialista Soviética Autónoma da Crimeia. Em 1945, após sua libertação pelo Exército Vermelho da ocupação alemã durante a Segunda Guerra Mundial, a Crimeia tornou-se uma região administrativa da Rússia e em 1954, a União Soviética deu a Crimeia à República Socialista Soviética da Ucrânia (Gillich, 2015).

A Ucrânia ganhou soberania com a dissolução formal da União Soviética em 1991. A Crimeia permaneceu parte do território ucraniano, com autonomia significativa, uma constituição e legislação independentes. Em 1999 a Ucrânia e a Rússia assinaram o acordo da Frota do Mar Negro, que ficou localizada na península da Crimeia, dividida entre a Rússia (81,7%) e a Ucrânia (18,3%), com a Rússia

---

<sup>1</sup> <https://worldpopulationreview.com/countries/ukraine-population>

a manter o direito de usar o porto de Sebastopol na Ucrânia até 2017. O tratado também concedeu à Rússia o direito de estacionar forças e meios nas suas bases na Crimeia<sup>2</sup> (Gillich, 2015).

O'Loughlin e Toal (2020) consideram que o conflito teve início em novembro de 2013, quando Viktor Yanukovich, presidente da Ucrânia na época, optou por aprofundar as relações econômicas com a Rússia. A Ucrânia encontrava-se à beira de uma forte crise econômica e o presidente Yanukovich aceitou um empréstimo de cerca de US\$ 15 bilhões da Rússia, sinalizando um movimento para formar a União Eurasiática que desencadeou uma onda de protestos. Os esforços do governo para reprimir esses protestos acabaram por fortalecer os e o Yanukovich sucumbiu e deixou Kiev a 21 de fevereiro de 2014 (O'Loughlin & Toal, 2020). Em consequência, foi formado um governo provisório, pró-ocidente.

Vladimir Putin criticou o novo governo considerando-o ilegítimo por não terem sido observados os ditames da constituição ucraniana. A Rússia também contestou o novo governo por ser composto por extremistas que colocaram em risco a segurança dos russos na Ucrânia e dos próprios ucranianos. Argumentando uma missão moral, Putin ordenou a invasão da Crimeia a 24 de fevereiro de 2014 (Cunha, 2017). Putin afirmou ainda que o governo russo vê a situação na Ucrânia através das lentes das repetidas traições ocidentais, a invasão da OTAN e desrespeito pelas suas preocupações de segurança. Os países ocidentais atribuem as tensões entre a Ucrânia e a Rússia à relutância da Rússia em tomar iniciativas liberais e cooperar com as potências ocidentais, uma relutância que consideram basear-se em fobias históricas e anseios pelo retorno da grandeza do passado (Wolff, 2015).

O controle sobre os recursos humanos e industriais no Leste Ucrânia, as vantagens militares geoestratégicas que esta região oferece e a possibilidade de garantir o controle sobre a base naval da Crimeia pode ter sustentado a decisão de Putin (Marxsen, 2015). Segundo Bukkvoll (2016), Putin tem uma personalidade particularmente propensa ao risco. A sua decisão pode ter sido uma resposta à perda do triunfo geopolítico aparentemente significativo, ou seja, travar a deriva da Ucrânia para o oeste antes do derrube presidente Yanukovich. Além disso, Bukkvoll afirma que o desejo de Putin de inverter a tendência de queda do seu índice de aprovação popular também estará na origem da decisão de invadir a Crimeia.

O conflito de 2014 entre a Rússia e a Ucrânia começou em 24 de fevereiro, exatamente oito anos antes da invasão militar da Ucrânia. O conflito de 2014 trouxe intensos combates entre as forças opostas, que resultou em imensos danos financeiros, a perda de milhares de vidas humanas<sup>2</sup>, principalmente ucraniano e comprometeu a ordem internacional desde então (Cunha, 2017). Como consequência, verificaram-se alguns movimentos de grupos ativistas pró-russos em algumas cidades ucranianas na tentativa de que também essas fossem tomadas. Ainda assim, sem muito sucesso, exceto na região do Donbass onde os combatentes pró-russos obtiveram sucesso, nas províncias de Donetsk e Luhansk. O governo de Kiev lançou uma operação militar contra o grupo, resultando em intensos combates pela posse da região e milhares de mortes resultantes dos confrontos (O'Loughlin & Toal, 2020). Estas províncias permaneceram sob o controle das forças da autoproclamada República Popular de Donetsk (DPR) e da República Popular de Luhansk (LPR), apoiadas pela Rússia (Political Geography Now, 2020).

---

<sup>2</sup> Até 25 000 soldados e pessoal naval, 24 sistemas de artilharia, 132 veículos blindados e vinte e dois aeronaves militares.

A queda do avião da Malaysia Airlines em 17 de julho de 2014, em Donetsk, Ucrânia, foi um evento dramático que assustou o mundo. Um míssil terra-ar russo disparado de uma posição localizada em um território no leste da Ucrânia controlado por forças pró-russas abateu um avião que transportava 283 passageiros e 15 tripulantes de várias nacionalidades (Dinis, 2015).

O conflito não ficou imune à pandemia de coronavírus. Uma intensificação dos combates no Donbass, em março de 2020, resultou em centenas de casos de Covid-19 no início de maio entre as forças do DPR e do LPR. Esses movimentos receberam ajuda de organizações humanitárias internacionais, embora esperassem um apoio mais significativo da Rússia.

Indiscutivelmente, a anexação da Crimeia foi vantajosa para a Rússia. Permitiu à Rússia o controle sobre as vantagens geoestratégicas que Península da Crimeia, apesar de ter infligido uma série de retrocessos em outras pretensões estratégicas e parcerias. Do ponto de vista militar, fica claro que o *New Generation Warfare*<sup>3</sup> surpreendeu o mundo e afirmou a posição da Rússia na comunidade internacional, aumentando as preocupações de segurança da Europa e da OTAN.

Para a Ucrânia, as consequências foram devastadoras, com a perda da integridade territorial e importantes consequências económicas e sociais. Para a Europa, o conflito trouxe uma exposição significativa das suas fraquezas, por exemplo, a dependência energética, a falta de *hard power* e de coesão interna da Europa em matéria de defesa e revelou as consequências da crise económica.

A pesquisa bibliográfica permitiu-nos concluir que os motivos que levaram à anexação da Crimeia estão enraizados nas questões geoestratégicas e as relacionadas com a personalidade do Presidente Putin. Do ponto de vista militar, a Rússia surpreendeu o mundo, levantando as preocupações de segurança da Europa e da OTAN. As consequências para a Ucrânia foram devastadoras, com perda de integridade territorial e efeitos económicos significativos. O conflito expõe as fraquezas da Europa e da OTAN. A invasão da Ucrânia pela Rússia dia 24 de fevereiro de 2022 é o seguimento mais trágico deste conflito.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Anexação da Crimeia; Federação Russa; Ucrânia; Europa; OTAN

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Bukkvoll, T. (2016). Why Putin went to war: ideology, interests and decision-making in the Russian use of force in Crimea and Donbas. *Contemporary Politics*, 22(3), pp. 267-282. doi: 10.1080/13569775.2016.1201310

Cunha, G. A. (2017). O conflito Russo-Ucraniano, o gás natural e a segurança energética na europa. *Revista Militar*. (2587-2588), pp. 715-736. Retirado de <http://www.revistamilitar.pt/artigo/1264>

Dinis, R. (2015). Primeira versão de relatório final do MH17 diz que míssil foi disparado por rebeldes pró-russos. Observador. Retirado de <https://observador.pt/2015/07/16/primeira-versao-relatorio-final-do-mh17-diz-missil-disparado-rebeldes-pro-russos/>

Gillich, I. (2015). Illegally Evading Attribution? Russia's Use of Unmarked Troops in Crimea and International Humanitarian Law. *Vanderbilt Journal of Transnational Law*. 48(5), pp. 1191-1223. Retirado de <http://web.a.ebscohost.com>

International Institute for Strategic Studies. (2020). *The Military Balance*. EUA

---

<sup>3</sup> Combina subversão política com o uso de forças não identificadas e guerra de informação.

- Marxsen, C. (2015). International Law in Crisis: Russia's Struggle for Recognition. *German Yearbook of International Law*. 58, pp. 11-48. Retirado de <http://web.a.ebscohost.com>
- O'Loughlin, J. & Toal, G. (2020). Does War Change Geopolitical Attitudes? A Comparative Analysis of 2014 Surveys in Southeast Ukraine. *Problems of Post-Communism*. 67(3), pp. 303-318. doi: 10.1080/10758216.2019.1672565
- Wolff, A. T. (2015). The future of NATO enlargement after the Ukraine crisis. *International Affairs*. 91(5), pp. 1103-1121. doi: 10.1111/1468-2346.12400

# O Consumo de Energia nas Operações Militares

**Autores: Florindo M. Matos-Canas (1), Rui Neves-Silva (2) e João Martins (3)**

- (1) Campo de Tiro da Força Aérea e UNINOVA-CTS. [fmcanas@emfa.pt](mailto:fmcanas@emfa.pt).
- (2) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e UNINOVA-CTS.
- (3) Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e UNINOVA-CTS.

**Resumo:** A dependência das operações militares pelo combustível tem maior relevância nas infraestruturas de apoio aos combatentes em missões no teatro de operações. A diminuição do nível de segurança energética, designadamente com a interrupção da cadeia logística de sustentação dos aquartelamentos de campanha, poderá colocar em risco a sobrevivência dos militares das Forças Nacionais Destacadas, principalmente localizadas em zonas de montanha, normalmente com difíceis acessos rodoviários. O enquadramento das operações militares na atualidade, bem como a caracterização da carga energética mais representativa dos aquartelamentos de campanha, motivam a investigação para a modelização das tendas. Esta abordagem torna possível simular diferentes cenários de tecnologias de sistemas a instalar, atendendo à disponibilidade de equipamento e localização dos aquartelamentos de campanha. Assim, é possível apoiar a decisão de maximizar a segurança energética de cada destacamento, e também contribuir para a neutralidade carbónica das Forças Armadas.

**Palavras-chave:** Aquartelamentos de Campanha, Modelização das Tendas, Apoio à Decisão, Segurança Energética, Neutralidade Carbónica.

## 1. INTRODUÇÃO

A análise da sustentação energética das operações militares, que decorreram nos conflitos armados mais recentes, irá permitir o estudo de contributos para um conceito estratégico, com orientações para mobilizar os Investigadores em desenvolver tecnologias e sistemas que maximizem a segurança energética dos aquartelamentos de campanha.

Estas infraestruturas móveis permitem a realização das atividades de apoio às operações militares, que no seu conjunto contribuem significativamente para o consumo energético da globalidade das operações militares desenvolvidas atualmente.

Neste artigo será apresentada uma análise do consumo de energia nos aquartelamentos de campanha, bem como a modelização da sua carga mais representativa, para assim ser possível simular vários cenários de tecnologias e sistemas a instalar, tendo por objetivo apoiar a decisão na escolha dos equipamentos a adquirir e a selecionar para cada destacamento, contribuindo assim para a neutralidade carbónica das Forças Armadas (FFAA), e consequentemente garantindo a segurança energética das Forças Nacionais Destacadas (FND).

## 2. ENQUADRAMENTO DESTE ESTUDO

Portugal é uma Nação que pertence à Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), entre outros trinta países, nomeadamente os Estados Unidos da América (EUA), Nação com mais doutrina e publicações na área das infraestruturas de apoio às forças militares destacadas, presumivelmente devido

ao seu maior envolvimento nos conflitos das últimas décadas, incluindo nas operações militares da OTAN. No âmbito da União Europeia (UE), Portugal integra a Agência Europeia de Defesa (AED), sendo membro da Cooperação Estruturada Permanente (CEP).

A estratégia desta cooperação centra-se no desenvolvimento de capacidades de defesa para as Nações da UE, de forma a poderem agir em conjunto e assim maximizar as sinergias. A CEP pretende igualmente contribuir para projetos que impulsionem a Base Tecnológica e Industrial da Defesa (BTID) dos seus países, incluindo também as tecnologias nas áreas da mobilidade militar e da função da energia operacional (Conselho da União Europeia, 2020).

Com os dados da guerra no Afeganistão, conclui-se que o transporte de combustível foi um alvo prioritário para as forças do inimigo, dado tratar-se de um recurso vital para a sustentação das forças militares presentes no teatro de operações. Além de reduzir o número de combatentes na frente de batalha, alocando-os à segurança militar do transporte de combustível, em média foi morto um combatente das escoltas por cada 24 missões de transporte de cisternas de combustível (Exército dos EUA, 2009).

Neste conflito armado, os EUA e os seus aliados da OTAN, em média, para entregar um litro de combustível no aquartelamento de campanha gastaram quatro litros de combustível no seu transporte (Loven, 2014). Considerando apenas o Exército do EUA, para entregar uma unidade de combustível no aquartelamento de campanha foram necessárias sete unidades para realizar o seu transporte (Exército dos EUA, 2015).

Atendendo ao impacto da sustentação logística no esforço de guerra, em 2008, o Departamento da Defesa (DD) dos EUA efetuou um estudo sobre o

consumo de combustível desde 2001, efetuado pelas suas forças nos principais teatros de operações, isto é, no Iraque e no Afeganistão. Como mostra a tabela I, para o Exército dos EUA, os padrões de consumo são consideravelmente diferentes em tempo de paz, ou em tempo de guerra, para além da maioria desse combustível ser utilizado em localizações remotas, de difíceis acessos, pelo que o seu transporte foi muito exposto aos ataques das forças inimigas.

Da tabela I, também se conclui que o consumo de combustível em tempo de guerra, pelo Exército dos EUA, é cerca de 3,6 vezes superior ao consumo em tempo de paz, sendo que os geradores elétricos utilizados consumiram cerca de 34% da totalidade do combustível utilizado pelo Exército dos EUA, os quais se destinam a produzir a energia elétrica para o funcionamento de todas as funções associadas às infraestruturas de apoio (DD dos EUA, 2008).

Tabela I – Consumo de Combustível pelo Exército dos EUA

Categoria	Em tempo de paz		Em tempo de guerra	
	Consumo (milhões de litros por ano)	Porcentagem	Consumo (milhões de litros por ano)	Porcentagem
Veículos de combate	113,7 (*)	10,31%	613,98 (*)	15,43%
Aeronaves de combate	530,6 (*)	48,11%	1 163,53 (*)	29,23%
Veículos táticos	166,76 (*)	15,12%	655,67 (*)	16,48%
<b>Geradores elétricos</b>	98,54 (*)	8,93%	1 353,03 (*)	<b>34%</b>
Equipamentos não táticos	193,29 (*)	17,53%	193,29 (*)	4,86%
<b>Total</b>	<b>1 102,89 (*)</b>	<b>100%</b>	<b>3 979,5 (*)</b>	<b>100%</b>

(\*) milhões de litros por ano

Adaptado de (DD dos EUA, 2008)

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO CONSUMO

Na doutrina dos EUA, os aquartelamentos de campanha são também designados por Bases Operacionais Avançadas, conceito que foi transposto para a generalidade das Nações da OTAN como «Forward Operating Bases» (FOB), constituindo a designação mais utilizada para os aquartelamentos de apoio às forças militares em campanha.

A AED, através do Centro de Interoperabilidade do Exército Europeu (CIEE) – FINABEL, tem definida a doutrina a aplicar nas missões com os Exércitos das Nações da UE, em aquartelamentos de campanha, classificados como móveis ou estacionários, em função da duração estimada para as operações militares, sendo que para uma previsão superior a 30 dias estamos na presença de FOB estacionárias.

De acordo com a doutrina estabelecida, as infraestruturas móveis para dar apoio a 500 combatentes, implantadas numa área mínima de cerca de 10 000 m<sup>2</sup>, são constituídas por tendas, ou abrigos do tipo contentor, para as seguintes funções: alojamentos; instalações sanitárias; instalações de confeção e de armazenagem da alimentação, incluindo para a lavagem de louça; espaço para refeições (messes) e área de bem-estar e lazer; instalações de lavagem e secagem de roupa; bem como o carregamento de baterias (FINABEL, 2013).

Em 2010, a comunidade científica começou a interessar-se em investigar a dependência das operações militares pelo abastecimento de combustível, atendendo a que a sustentação logística de água e de combustível representava, nessa altura, cerca de 80% da cadeia de abastecimento das FOB. Como alternativa às tendas, foi desenvolvido o conceito de FOB sustentáveis, que são constituídas por estruturas modulares pré-fabricadas, com envolvente isolada termicamente, reduzindo assim o pico da potência elétrica em 28%, e as necessidades de água em 27%, com um sistema de tratamento e reutilização das águas residuais (Cave *et al.*, 2011).

Na figura 1 apresentam-se os consumos das cargas elétricas dos aquartelamentos de campanha, designados por FOB sustentáveis, identificando-se os sistemas de climatização e de ventilação dos abrigos, como a carga elétrica de maior consumo de energia, com o valor de 61% do consumo total destas FOB.

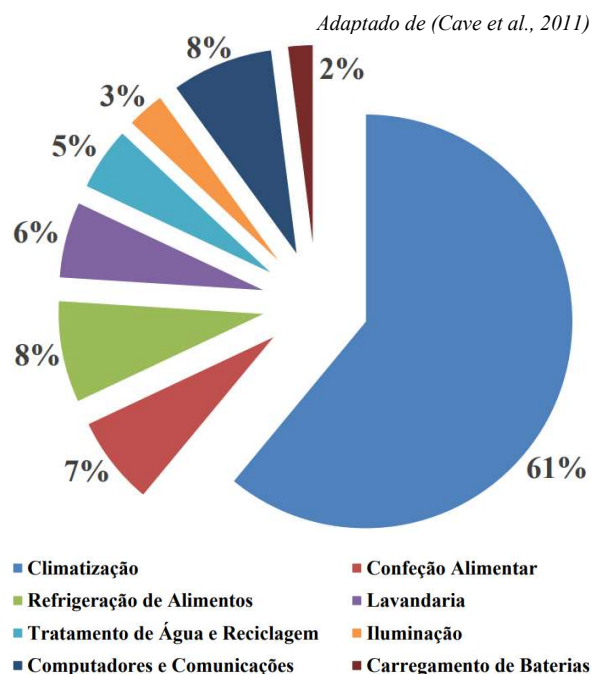


Figura 1 – Consumos das cargas elétricas das FOB sustentáveis

Relativamente à rede de distribuição de energia elétrica, foi desenvolvido o conceito de FOB virtuais, que constitui uma ferramenta que permite simular o trânsito de energia na micro-rede elétrica que se desenvolve no interior dos destacamentos, e que se destina principalmente a dimensionar corretamente as canalizações elétricas e respetivas proteções contra a ocorrência de defeitos (Kahveci *et al.*, 2012).

As micro-redes existentes nas FOB podem fornecer energia elétrica a partir de uma diversidade de fontes de energia, sendo que atualmente o principal recurso é o combustível que alimenta os geradores elétricos. O modelo de otimização do consumo deverá ter em conta o perfil da carga mais representativa dos aquartelamentos de campanha, bem como das tecnologias de produção e armazenamento de energia.

Num trabalho realizado no Laboratório de Integração da Base Acampamento, do Exército dos EUA, por Investigadores do Massachusetts Institute of Technology (MIT), concluiu-se que as cargas correspondentes à climatização e à ventilação das tendas do acampamento representam 86% do consumo total das FOB (Shabshab *et al.*, 2020).

A redução de 25% no consumo de energia pelas FOB sustentáveis, comparativamente com a solução mais utilizada, tem um impacto operacional com a diminuição da rapidez e da flexibilidade na montagem dos aquartelamentos de campanha.

Assim, na perspetiva das operações militares táticas, os **Sistemas de Controlo da Temperatura Interior (SCTIs)** das tendas, que chegam a necessitar de **86% do consumo total** da energia para a sua **climatização e ventilação**, são a principal razão para este estudo.

#### 4. Modelização dos Sistemas de Controlo da Temperatura Interior das tendas

Para poder validar soluções que reduzam o consumo de energia com a climatização e a ventilação das tendas de um aquartelamento de campanha, reduzindo assim o abastecimento de combustível, e aumentando a segurança energética das FOB, desenvolvemos um modelo em matlab/simulink, com as equações que determinam o valor da variável de estado (saída) a partir de mais variáveis (entradas) e das perturbações, representando-se na figura 2 o sistema de climatização e de ventilação de uma tenda.

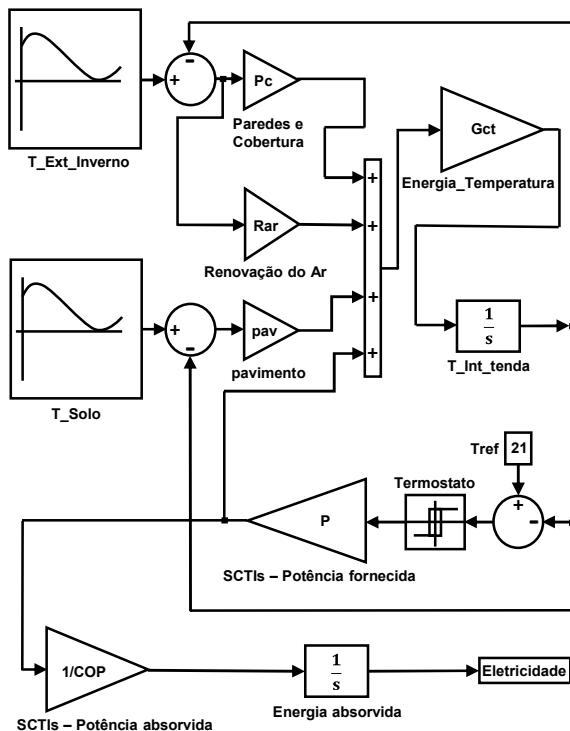


Figura 2 – Modelização dos SCTIs das Tendas

Assim, para efetuar a modelização dos SCTIs das

tendas temos os seguintes parâmetros e variáveis:

- *Parâmetro que caracteriza as Renovações e infiltrações do ar (Rar);*
- *Parâmetro que caracteriza a transferência de calor entre o ambiente exterior e as Paredes e cobertura (Pc);*
- *Parâmetro que caracteriza a transferência de calor entre o solo e o pavimento (pav);*
- *Parâmetro que caracteriza a conversão de energia em temperatura, representado por Ganho do cálculo da temperatura (Gct);*
- *Parâmetro da Potência (P) térmica requerida aos SCTIs;*
- *Parâmetro da conversão de potência térmica em potência elétrica, designado pelo inverso do «Coefficient of Performance» (1/COP);*
- *Variável Temperatura Interior (T<sub>Int</sub>);*
- *Variável Temperatura Exterior (T<sub>Ext</sub>);*
- *Variável Temperatura do Solo (T<sub>Solo</sub>).*

No cálculo dos parâmetros, foi considerado um coeficiente de absorção solar de 0,4, um coeficiente de transmissão de calor por convecção, de 3,05 W/(m<sup>2</sup> °C) para as superfícies internas e de 17,8 W/(m<sup>2</sup> °C) para as superfícies externas, para além das cargas internas associadas às pessoas, de 800 W no período entre as 6 da tarde e as 7 da manhã, e de 200 W durante o resto do dia, bem como 144 W com as cargas de iluminação (Salvalai *et al.*, 2015). Na tabela II apresentam-se as constantes, do modelo matemático dos SCTIs, com a seguinte equação final:

$$\frac{d}{dt}(\text{Eletricidade}) = \frac{\text{Potência Térmica}}{\text{COP}} \quad (1)$$

Tabela II – Constantes da modelização matemática

$\rho_{ar}$	Densidade do ar seco	1.224 Kg/m <sup>3</sup>
$C_{ar}$	Calor específico do ar seco	1005 Joule/(Kg.°C)
$V_{ar}$	Volume do ar seco	58.40 m <sup>3</sup>
$\rho_v$	Densidade equivalente do vapor de água e restantes materiais	3800 Kg/m <sup>3</sup>
$C_v$	Calor específico equivalente do vapor de água e restantes materiais	2200 Joule/(Kg.°C)
$V_v$	Volume do vapor de água e restantes materiais	1 m <sup>3</sup>
$A_{pc}$	Área das paredes e cobertura	67.24 m <sup>2</sup>
$A_{pav}$	Área do pavimento	29.58 m <sup>2</sup>
RH	Renovações de ar por Hora	1) – 4 RH, 2) – 2 RH

#### 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com esta investigação desenvolveu-se a modelização do sistema de climatização e ventilação de uma tenda, para a situação de inverno, por ser a carga energética mais representativa. Assim, torna-se possível realizar as simulações necessárias para apoiar a decisão na utilização das seguintes soluções de equipamentos:

- (1) *Aquecimento utilizando resistências elétricas;*
- (2) *Aquecimento utilizando bombas de calor;*
- (3) *Aplicação de variação de velocidade nos motores;*
- (4) *Regulação do termostato;*
- (5) *Aumento do isolamento térmico da envolvente.*

Na figura 3 apresentam-se os arranques dos SCTIs para a solução das resistências elétricas, e na figura 4

a evolução do correspondente consumo de energia durante um dia (24 horas) de funcionamento. Na figura 5 apresenta-se a evolução do consumo de energia para a solução de bomba de calor. Com a aplicação desta tecnologia, consegue-se diminuir o consumo energético diário de 400 MJ para 133,33 MJ, reduzindo-se assim 67% do combustível.

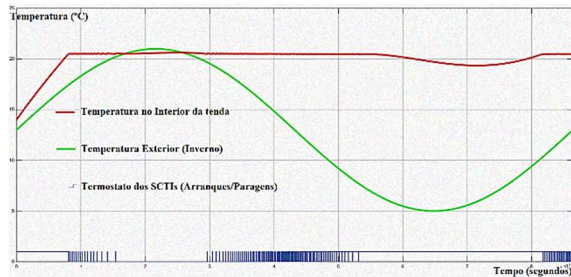


Figura 3 – Arranques dos SCTIs para garantir  $T_{int}$

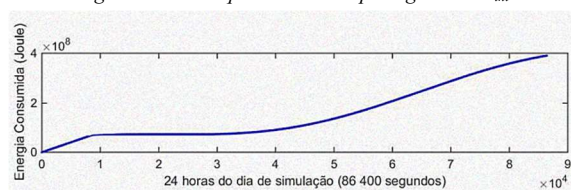


Figura 4 – Consumo de energia para garantir  $T_{int}$  (COP=1)

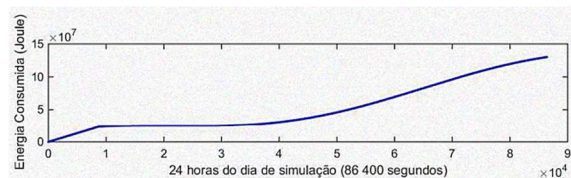


Figura 5 – Consumo de energia para garantir  $T_{int}$  (COP=3)

Discutindo os resultados obtidos com as restantes soluções, na 3ª situação consegue-se uma redução de 21%, enquanto na 4ª apenas 5%. A última tecnologia analisada reduz 72%, a qual se encontra associada ao fabrico de lonas inovadoras para as tendas. Refira-se ainda que poderão existir várias tecnologias nas FOB.

## 6. CONCLUSÕES

Com este estudo é possível simular o consumo de energia para várias tecnologias de SCTIs, que atualmente poderão ser instaladas nas tendas.

Numa fase seguinte da investigação será estudada a produção e o armazenamento de energia nas FOB. Além do isolamento térmico das tendas e outras inovações tecnológicas aplicadas ao SCTIs, conforme simulado nesta investigação, poderão ainda ser considerados recursos energéticos renováveis, quer para a produção e o armazenamento de energia, quer para satisfazer diretamente essas necessidades.

Além do contributo para a segurança energética dos aquartelamentos de campanha, estes resultados permitem também que as FFAA tenham um papel relevante para a neutralidade carbónica (Conselho de Ministros, 2019), bem como para a BTID nacional.

## Agradecimentos

O primeiro autor agradece a Sua Excelência o

General Chefe do Estado-Maior da Força Aérea e a Sua Excelência o Major-General Comandante da Academia da Força Aérea (AFA), por este artigo ter resultado de uma investigação com o apoio institucional da AFA, no âmbito do Programa Doutoral em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Universidade Nova de Lisboa.

## REFERÊNCIAS

- Cave, G., Goodwin, W., Harrison, M., Sadiq, A. e Tryfonas, T. (2011). Design of a Sustainable Forward Operating Base. *Institute of Electrical and Electronics Engineers. 6<sup>th</sup> International Conference on System of Systems Engineering*, 251-257.
- Conselho da União Europeia (2020). *Conclusões do Conselho sobre a Revisão Estratégica da Cooperação Estruturada Permanente 13188/20*. Secretariado-Geral do Conselho. 17 pp.
- Conselho de Ministros (2019). *Estratégia de Longo Prazo para a Neutralidade Carbónica da Economia Portuguesa em 2050*. Presidência do Conselho de Ministros. 99 pp.
- DD dos EUA (2008). *Energy Strategy: "More Fight Less Fuel"*. Defense Science Board Task Force. 135 pp.
- Exército dos EUA (2009). *Sustain the Mission Project: Casualty Factors for Fuel and Water Resupply Convoys*. Army Environmental Policy Institute. 21 pp.
- Exército dos EUA (2015). *Energy Performance Measurement and Simulation Modeling of Tactical Soft-Wall Shelters*. United States Army Corps of Engineers. 68 pp.
- FINABEL (2013). *Doctrine and Solutions for Field Accommodations up to Fixed Installations*. European Army Interoperability Center. 28pp.
- Kahveci, O., Crow, M. e Corns, S. (2012). An Automated Forward Operating Base Electrical Distribution System Simulator. *Institute of Electrical and Electronics Engineers. North American Power Symposium*, 1-5.
- Loven, F.V. (2014). What energy security implications for air transport operations? *NATO Energy Security Center of Excellence. Energy Security: Operational Highlights*, 17-24.
- Salvalai, G., Imperadori, M., Scaccabarozzi, D. e Pusceddu, C. (2015). Thermal performance measurement and application of a multilayer insulator for emergency architecture. *ELSEVIER. Applied Thermal Engineering*, 110-119.
- Shabshab, S., Lindahl, P., Leeb, S. e Nowocin, J. (2020). Autonomous Demand Smoothing for Efficiency Improvements on Military Forward Operating Bases. *Institute of Electrical and Electronics Engineers. Transactions on Power Delivery*, 2243-2251.

# Utilização de resina epoxy com grafeno em laminados para estruturas aeronáuticas

**Autores: A. Oliveira (1), L. Félix (1) e Rui P.F.F. da Silva (2)**

- (1) Centro de Investigação da Academia da Força Aérea, Academia da Força Aérea. Instituto Universitário Militar, Granja do Marquês, 2715-021 Pêro Pinheiro, Portugal. aloliveira@academiafa.edu.pt
- (2) Graphenest S.A., Edifício VougaPark, 3740-070 Paradela do Vouga, Portugal

**Resumo:** O grafeno é um material recente, cujas propriedades permitem que este venha a substituir ou complementar outros materiais em diversas aplicações. Neste trabalho, será estudada a implementação de grafeno em estruturas aeronáuticas, mais propriamente na asa de um UAV classe I. Inicialmente foram realizados ensaios de tração e flexão a três matrizes diferentes: a matriz usada no CIAFA; a matriz aditivada com grafeno produzida pela *Graphenest, S.A.*; e a matriz base sem grafeno, utilizada na produção da anterior. Os ensaios foram realizados com fibras bidirecionais e unidirecionais, sendo que se obtiveram melhorias de 6,2% nos módulos de elasticidade entre a matriz com grafeno e a primeira. Por fim, estas propriedades foram utilizadas no projeto da asa de UAV, recorrendo a uma análise por elementos finitos. Foram realizadas análises estática e de instabilidade, tendo se obtido melhorias de 0,8% a 5,4% nas tensões e deslocamento, e uma diminuição significativa de peso.

**Palavras-chave:** grafeno, materiais compósitos laminados, ensaios, elementos finitos.

## 1. INTRODUÇÃO

Descoberto à menos de duas décadas, o grafeno tem demonstrado ser o material que irá trazer grandes melhorias em termos de propriedades nos diversos campos da ciência e da engenharia. Atualmente é considerado o material mais resistente de sempre, sendo cerca de 100 a 300 vezes mais que o aço (The Graphene Council, n.d.). O foco principal deste trabalho é analisar a melhoria do desempenho mecânico de estruturas aeronáuticas em materiais compósitos com a introdução de grafeno. Os materiais compósitos laminados têm na sua constituição fibras e matriz. Neste caso, o grafeno faz parte da constituição do segundo e fortalece a ligação entre os dois componentes.

O trabalho foi dividido em duas fases. Na primeira, procura-se caracterizar as propriedades mecânicas de materiais compósitos com a inclusão de grafeno, recorrendo-se a ensaios a tração e flexão de acordo com a normas ISO. A segunda consiste na simulação numérica da estrutura de uma asa de um UAV classe I, tendo como objetivo analisar o impacto da inclusão de grafeno na formulação do material compósito.

## 2. REVISÃO CIENTÍFICA

O grafeno é um material cuja constituição são átomos de carbono ligados entre si, formando uma malha hexagonal bidimensional (Tang et al., 2014). Existem diversos métodos para a obtenção deste nanomaterial, sendo que o método que conduziu à sua descoberta foi a exfoliação mecânica, no qual se delamina grafite até à obtenção de estruturas bidimensionais muito finas (Cooper et al., 2011). Esta abordagem pode igualmente ocorrer através do método de exfoliação química, pertencendo ambos ao processo conhecido

como *top-down*. Por outro lado, através do processo *bottom-up* é igualmente possível sintetizar grafeno recorrendo a tecnologias de adição de material, como por exemplo, deposição química na fase vapor (CVD) e crescimento epitaxial.

Relativamente aos materiais compósitos laminados, o objetivo consiste em misturar dois ou mais materiais num só, por forma a obter as melhores propriedades que ambos têm para oferecer. No caso dos laminados, as fibras são por norma responsáveis por dar resistência à estrutura para suportar os esforços necessários. É assim possível alterar a orientação das fibras, por forma a ajustar às necessidades da estrutura. O papel da matriz no compósito é assegurar a coesão e fixação das fibras e impedir que estas se separem e/ou quebrem.

Para este estudo foram selecionados dois tipos de tecidos de fibras de carbono. Um primeiro, bidirecional, no qual as fibras estão interlaçadas entre si, cruzando-se, fazendo um ângulo de 90 graus. E um segundo, em que as fibras têm apenas uma direção, e encontram-se todas paralelas umas às outras. Foram consideradas três matrizes diferentes. A primeira é a *Sicomín SR 8200 + SD 7206*, conjunto resina/endurecedor, que é atualmente usado no Centro de Investigação da Academia da Força Aérea (CIAFA). A segunda e terceira são respetivamente a *HexaMatrix* sem e com grafeno (2 wt%), sendo ambas fornecidas pela *Graphenest, S.A.*

Com o objetivo de caracterizar as propriedades mecânicas dos materiais foram realizados ensaios de tração e flexão. Os ensaios de tração seguiram a norma ISO/DIS 527-4 (2020) para os provetes compostos por fibras bidirecionais e a norma ISO/DIS 527-5 (2020) para os provetes unidirecionais. Destacar que para o primeiro caso, os provetes a serem produzidos são do tipo 3 e têm uma

espessura de 2 mm. Já no segundo caso, os provetes são do tipo A e a sua espessura é de 1 mm. O ensaio de flexão seguiu a norma ISO 14125:1998 + AC:2002 + A1:2011 (2011). Os provetes são do tipo IV e têm 2 mm de espessura.

### 3. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Nesta fase do projeto foram testados seis tipos de materiais compósitos laminados. Foram usados dois tipos fibras de carbono, bidirecionais e unidirecionais. E em cada um destes casos testaram-se as três matrizes já mencionadas. Em jeito de simplificação, será chamado ao conjunto da matriz atualmente usada no CIAFA de resina 1. Quanto às matrizes da empresa *Graphenest*, a que não tem grafeno incorporado será a resina 2, e a que tem, será a resina 3. Segundo a norma ISO 527-1 (2019) e a anterior norma sobre o ensaio de flexão, ambas referem que devem ser ensaiados um número mínimo de 5 provetes por cada condição de teste.

Assim sendo, e tendo em conta os possíveis erros durante a produção dos provetes, foi decidido produzir-se 10 provetes bidirecionais, repartidos por dois painéis, e 9 provetes unidirecionais, três por cada painel. Deste modo, a fim de testar as três resinas à tração e flexão, foram produzidos 114 provetes.

Antes de se iniciarem os ensaios, foram realizadas medições da massa e dos comprimentos e espessuras de cada um dos provetes, tendo em vista obter uma estimativa da razão de volume fibra/matriz de cada provete. Estes valores são essenciais para garantir que os provetes de diferentes materiais possuem a mesma concentração relativa de matriz na sua constituição. Relativamente aos ensaios à tração, as fibras bidirecionais partiram maioritariamente na região central, ao passo que as unidirecionais na sua maioria partiram apenas algumas das suas laminas, não havendo uma quebra total de uma secção (Figura 1).

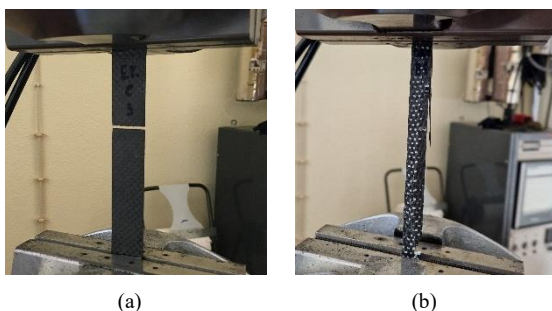


Fig. 1. Provetes após ensaio à tração. (a) Quebra de provete bidirecional na região central. (b) Quebra parcial das laminas de provete unidirecional.

Quanto ao ensaio de flexão verificou-se a mesma situação para os bidirecionais, enquanto que as unidirecionais fletiram apenas, quebrando as laminas mais exteriores da região central (Figura 2).

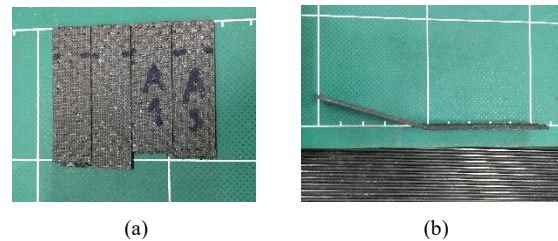


Fig. 2. Provetes após ensaio à flexão. (a) Quebra de dois provetes bidirecionais na região central. (b) Quebra de algumas laminas exteriores de um provete unidirecional.

Na análise de resultados, verificou-se que alguns ensaios saíram fora do padrão. Nesse caso é necessário identificar os pontos que se desviaram do padrão (*outliers*), por forma a que os resultados finais não sejam afetados por estes.

Desta forma, escolheu-se usar o método do intervalo interquartis (Vinutha et al., 2018), no qual é possível com a amostra de resultados calcular os limites inferior e superior de cada ensaio, sendo que os provetes que tenham valores fora desses intervalos são considerados *outliers*, e por sua vez removidos. Ao todo foram detetados 23 provetes comprometidos, dentro dos 114 iniciais.

As tabelas I e II apresentam os valores médios, para cada conjunto de ensaios realizado, dos módulos de Young e de elasticidade à flexão, em GPa. Na última linha de cada tabela estão apresentadas as diferenças percentuais relativas entre o módulo de elasticidade à flexão e o módulo de Young, sendo relativa a este último. O mesmo acontece para as três últimas colunas, no qual aparecem as diferenças percentuais relativas entre as propriedades das três resinas. A diferença a que se referem os valores aparece entre parêntesis, sendo esta relativa ao segundo elemento. É assim possível verificar que os ensaios decorreram dentro do esperado, tendo em conta as diferenças não acentuadas entre os resultados. No entanto, como se pode verificar pelos resultados do ensaio à flexão das resinas 2 e 3 unidirecionais, estes valores foram bastante abaixo do esperado. Tal deveu-se a falhas na produção que levaram a uma razão de volume de matriz abaixo dos restantes provetes. Estes tiveram uma percentagem média de 32,27% e 40,28%, comparativamente com os valores de aproximadamente 43% obtidos nos outros provetes.

Uma vez que pela teoria clássica de laminados, para provetes com empilhamento igual para todas as laminas, que foi de 0º, o módulo de Young e o módulo de elasticidade à flexão são iguais.

Tabela I. Resultados experimentais dos módulos de Young e de elasticidade à flexão, GPa, das fibras bidirecionais.

	Resina 1	Resina 2	Resina 3	Dif. (2 – 1)	Dif. (3 – 2)	Dif. (3 – 1)
M. Young	38,776	38,746	38,506	-0,1%	-0,6%	-0,7%
M. E. Flex.	35,887	36,918	38,124	2,9%	3,3%	6,2%
Diferença	-7,4%	-4,7%	-1,0%	-	-	-

Tabela II. Resultados experimentais dos módulos de Young e de elasticidade à flexão, GPa, das fibras unidirecionais.

	Resina 1	Resina 2	Resina 3	Dif. (2 – 1)	Dif. (3 – 2)	Dif. (3 – 1)
<b>M. Young</b>	83,664	82,204	82,227	-1,7%	0,0%	-1,7%
<b>M. E. Flex.</b>	87,430	49,677	73,394	-43,2%	47,7%	-16,0%
<b>Diferença</b>	4,5%	-39,6%	-10,7%	-	-	-

É possível constatar pelas tabelas anteriores que essas diferenças variam entre -7,4% e 4,5%. Pode-se assim afirmar que a matriz tem um efeito preponderante nas tensões de corte interlaminares. Este efeito ocorre apenas quando o material é sujeito a esforço à flexão, uma vez que a tensão varia ao longo da espessura, tendo valores máximos simétricos nas laminas exteriores, e anulando-se nas laminas centrais. Já para o ensaio de tração, a distribuição é igual ao longo da espessura, levando a que não existam tensões de corte entre as laminas. Assim sendo, e tendo em conta que o esforço que ocorre nas asas e respetivas longarinas é maioritariamente de flexão, as propriedades que deverão transitar para a parte numérica serão as obtidas nos ensaios deste tipo.

Foi assim necessário estimar novos valores do módulo de elasticidade à flexão das resinas 2 e 3 unidirecionais. Tendo em consideração os resultados obtidos para os ensaios com fibras bidirecionais, estimou-se que o comportamento com as fibras unidirecionais deveria ser equivalente, pelo que se aplicou a mesma taxa de variação entre as 3 resinas, relativamente à resina 1. Este procedimento foi utilizado para estimar o módulo de elasticidade à flexão, a espessura da lamina e o valor de tensão de rotura do laminado.

Os valores finais que se utilizaram na simulação numérica estão apresentados na tabela III. Nesta tabela é indicada também a massa de um painel de 1 m<sup>2</sup> feito de cada um destes materiais, para comparação de peso. A amarelo encontram-se os valores que foram estimados.

#### 4. PROJETO DA LONGARINA E ASA

Por forma a poder-se aplicar as propriedades obtidas numa estrutura aeronáutica, e comparar esses resultados, foi usado o modelo conceptual de um UAV classe I (< 150kg) e VTOL (descolagem e aterragem vertical) com sistema de propulsão de célula de hidrogénio, desenvolvido por (Coelho, et al., 2022).

A asa, e consequentemente a longarina, foram projetadas por (Sá, 2021), e serão o ponto de partida para as análises linear estática e linear de instabilidade. O estudo foi realizado a partir de um *software* dedicado a análises por elementos finitos, que é o *Siemens NX*.

Relativamente à longarina, esta já cumpria com os requisitos da análise linear, tendo sido apenas necessário fazer o devido reforço das almas e do banzo superior, pois ocorriam fenómenos de instabilidade devido à compressão. Após estas correções verificou-se uma diminuição de cerca de 211 MPa da tensão principal máxima, que ocorre junto do encastramento da viga. Para as forças aplicadas, ocorreu uma deflexão de 165,4 mm da ponta da longarina (1900 mm de envergadura) com resina 1. Sendo que a utilização da resina 3 originou uma diminuição de 12,9 mm (-7,8%).

Após obter-se o projeto final da longarina, procederam-se às devidas correções no modelo da asa, e realizou-se a análise linear estática, incluindo o estudo de convergência de malha. Novamente, verificou-se que a asa cumpria com os requisitos de tensão máxima obtidos na análise linear estática. No entanto, para a estrutura apresentou instabilidade à compressão no revestimento do extradorso da asa, nomeadamente nas regiões entre a longarina principal e a secundária. Foram consideradas duas hipóteses de reforço. A primeira seria a colocação de espuma técnica de 3 mm de espessura entre as laminas bidirecionais que compõe o revestimento, da raiz à ponta da asa. A segunda hipótese seria aumentar o número de laminas bidirecionais, e criar descontinuidades ao longo da envergadura, fazendo o número de laminas diminuir, tal como já acontecia nos banzos da longarina principal. Foi feito um estudo de comparação do peso de ambos, concluindo-se que a segunda solução origina uma estrutura mais leve.

Após a validação final da estrutura da asa, foram executadas simulações com as três resinas diferentes. Verificaram-se melhorias em grande parte das estruturas usando a resina com grafeno (resina 3).

Tabela III. Resultados experimentais finais para cada uma das fibras e resinas utilizadas.

	Resina 1		Resina 2		Resina 3	
	Bidirecional	Unidirecional	Bidirecional	Unidirecional	Bidirecional	Unidirecional
<b>Espessura [mm]</b>	0,178	0,246	0,181	0,250	0,183	0,252
<b>Densidade [kg/m<sup>3</sup>]</b>	1518,7	1515,5	1492,1	1492,1	1493,5	1493,5
<b>Massa [g]</b>	270,79	372,37	270,66	372,87	272,72	375,77
<b>M. Young [GPa]</b>	35,887	87,430	36,918	89,943	38,124	92,881
<b>T. Rotura [MPa]</b>	664,82	926,54	661,54	921,98	645,36	899,43

Sendo assim, decidiu-se fazer um modelo de asa mista, no qual as longarinas e o revestimento são produzidos com esta resina, e as nervuras com resina 1. As melhorias foram pouco significativas.

A asa modelada com a resina 3 apresenta uma carga crítica de instabilidade muito superior à carga máxima de projeto da estrutura. Assim sendo, é possível redimensionar a estrutura mantendo todos os requisitos de segurança, pelo que se criou um novo modelo com a redução de material utilizado na estrutura. A alteração visou essencialmente a redução de lâminas no revestimento do extradorso e do banzo superior da longarina principal., zonas estas que estão mais expostas a efeitos de instabilidade. Os resultados do deslocamento da asa destes cinco modelos mencionados encontram-se na tabela IV, juntamente com as diferenças relativas ao valor da resina 1 (para as resinas 2 e 3) e ao valor da resina 3 (para os últimos dois modelos), e ainda a percentagem relativa ao valor da envergadura da asa (2000 mm). Os valores de carga crítica relativa, referentes ao primeiro modo de instabilidade encontram-se na tabela V, sendo que as diferenças relativas entre estas assumem o mesmo esquema da tabela IV.

Tabela IV. Resultados dos deslocamentos dos modelos da asa

Modelo	Desl. [mm]	Dif. [%]	% Enver.
<b>Resina 1</b>	112,1	-	5,6
<b>Resina 2</b>	108,2	-3,5	5,4
<b>Resina 3</b>	105,3	-6,1	5,3
<b>Mistura</b>	105,3	0,0	5,3
<b>Reduzido</b>	106,6	1,2	5,3

Tabela V. Resultados das cargas críticas dos modelos da asa

Modelo	Carga Crítica	Diferença [%]
<b>Resina 1</b>	1,014	-
<b>Resina 2</b>	1,083	6,8
<b>Resina 3</b>	1,126	11,1
<b>Mistura</b>	1,125	-0,1
<b>Reduzido</b>	1,054	-6,4

Relativamente às tensões máximas principais do modelo final, o valor máximo para uma lamina unidirecional, que constituem maioritariamente os banzos das longarinas, foi de 407,95 MPa, localizada no encastramento da longarina, na ligação com a alma. Esse valor foi -3,0% do que o da resina 3 e -5,4% relativamente à resina 1. Quanto às laminas compostas por fibras bidirecionais, tiveram o seu valor máximo no ponto adjacente ao anterior, este pertencente agora ao revestimento da asa. O valor foi de 190,41 MPa, e foi -0.8% do que o valor da resina 3 e -4,7% relativamente à resina 1. Os valores de tensão de rotura das laminas, com fator de segurança incluído, são metade dos valores referidos na tabela III.

## 5. CONCLUSÃO

A inclusão de grafeno na matriz do material compósito teve impacto essencialmente no

comportamento à flexão, resultando num aumento significativo do módulo de elasticidade. No entanto, os resultados obtidos com as fibras unidirecionais não foram conclusivos e devem ser repetidos.

O projeto da asa com recurso a simulação numérica permitiu verificar que a inclusão do grafeno diminui o deslocamento máximo da estrutura, melhora o seu comportamento à instabilidade e permite reduzir o material necessário para projetar a estrutura da asa cumprido os requisitos de segurança.

## REFERÊNCIAS

### Artigos em revistas:

Coelho V., et al. (2022). Design of a tactical eVTOL UAV with a Hydrogen Fuel Cell. *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, pp. 94-103, doi: 10.1109/ICUAS54217.2022.9836046.

Cooper, D., D'Anjou, B., Ghattamaneni, N., Harack, B., Hilke, M., Horth, A., . . . Yu, V. (2011). Experimental review of graphene. *International Scholarly Research Network Condensed Matter Physics*, 2012. doi: 10.5402/2012/501686

Tang, J., Zhou, H., Liang, Y., Shi, X., Yang, X., e Zhang, J. (2014). Properties of graphene oxide/epoxy resin composites. *Journal of Nanomaterials*, 2014. doi: 10.1155/2014/696859

### Capítulos em livros:

Vinutha, H. P., Poornima, B., e Sagar, B. M. (2018). Detection of outliers using interquartile range technique from intrusion dataset. In *Information and decision sciences*. Springer, Singapore. 511-518.

### Dissertações de Mestrado:

Sá, P. (2021). Projeto detalhado estrutural de veículo aéreo não tripulado com uma célula de combustível de hidrogénio (Master's thesis). Academia da Força Aérea, Sintra, Portugal.

### URL:

The Graphene Council. (n.d.). What is graphene? Retirado de <https://www.thegraphenecouncil.org/page/WhatIsGraphene> (Consultado: 11/10/2022)

## Poluição no Mar: Análise e Monitorização utilizando Veículos não Tripulados

Teresa Lourenço Antunes (1), Nuno Pessanha Santos (1) e Ricardo Pinto Moura (1)

(1) Centro de Investigação Naval (CINAV), Escola Naval, Base Naval de Lisboa, 2810-001 Almada, Portugal  
Correspondência: teresa.margarida.antunes@marinha.pt; nuno.pessanha.santos@marinha.pt; rp.moura@fct.unl.pt

**Resumo:** O planeta terra é maioritariamente constituído por água, sendo essencial garantir a monitorização e controlo da poluição existente. Por forma a garantir a vigilância e controlo de derrames ilegais ou acidentais de substâncias perigosas e nocivas no mar a nível europeu, foi desenvolvido e implementado o sistema (serviço) de monitorização por satélite *CleanSeaNet*. Este sistema tem como principal objetivo alertar os estados costeiros de possíveis derrames na sua Zona Económica Exclusiva (ZEE), permitindo assim que sejam tomadas as necessárias ações legais e de combate (limpeza) da área afetada. Para além de verificarmos as zonas mais afetadas por derrames e como estes se comportam ao longo do tempo tendo em conta as condições meteorológicas, torna-se também necessário propor uma rede nacional de veículos não tripulados (aéreos e de superfície) que permita diminuir os custos existentes e otimizar as tarefas de monitorização e controlo.

**Palavras-chave:** monitorização ambiental, prevenção da poluição, controlo da poluição, poluição no mar, veículos não tripulados.

### 1. INTRODUÇÃO

Os mares e oceanos ocupam cerca de 70% da área disponível no nosso planeta, representando aproximadamente 97% de toda a água disponível (Seckler, et al., 1998). Adicionalmente, cerca de 50% a 80% do oxigénio da terra é produzido pelo plâncton existente nos oceanos utilizando processos de fotossíntese (O’Dor & Berghe, 2012). Podemos então afirmar que estes são essenciais para a vida na terra, sendo essencial garantir a sua preservação.

A poluição no mar é um problema cada vez mais grave no nosso planeta, tendo-se verificado um aumento exponencial ao longo dos anos. O aumento da poluição existente no mar, tem tido maioritariamente as seguintes origens: (i) descargas deliberadas de substâncias perigosas e nocivas e (ii) plásticos. As descargas de plástico chegam mesmo a originar a formação de *ilhas*, colocando em causa por exemplo a biodiversidade animal (Rhodes, 2018).

Esta é uma problemática real à qual deve ser dada a sua devida importância, procurando assim num futuro próximo ter cada vez mais soluções para a sua diminuição ou mesmo extinção.

É preciso também ter em conta que grande parte do comércio mundial é realizado por via marítima, estando Portugal numa posição geográfica estratégica para garantir o apoio à navegação e ser a *porta para a europa*. O intenso tráfego marítimo existente, quando não devidamente controlado, pode originar derrames ilegais ou acidentais de substâncias perigosas e nocivas no mar. É, portanto, dever de cada estado costeiro garantir a vigilância e controlo do que acontece na sua Zona Económica Exclusiva (ZEE), tomando assim as medidas necessárias para diminuir ou mesmo eliminar totalmente a poluição existente.

Por forma a garantir a vigilância e controlo de derrames ilegais ou acidentais de hidrocarbonetos e outros óleos no mar a nível europeu, a *European Maritime Safety Agency* (EMSA) desenvolveu e implementou o sistema (serviço) de monitorização por satélite *CleanSeaNet* (Carpenter, 2015). O objetivo principal deste sistema, e independentemente da origem do derrame ou do contexto legal existente, é alertar as autoridades do estado costeiro com jurisdição sobre a zona para que este tome as necessárias ações de monitorização e combate (limpeza). No caso concreto de Portugal, esta monitorização e combate é da responsabilidade da Direção de Combate à Poluição do Mar (DCPM), pertencente à Marinha Portuguesa (MP).

O objetivo principal deste trabalho é a proposta de uma rede nacional de veículos não tripulados (aéreos e de superfície), que possam ser usados para a monitorização e combate da poluição no mar. Sendo que os principais contributos identificados até ao momento são: (i) a análise estatística de todos os possíveis derrames ocorridos na ZEE portuguesa, (ii) a modelação do comportamento destes derrames tendo em conta as condições meteorológicas da área afetada e (iii) a proposta de uma rede nacional de veículos não tripulados (aéreos e de superfície) que possibilite a diminuição dos custos envolvidos, bem como, reduzir o empenhamento de pessoal, e assim otimizar as tarefas de monitorização e controlo.

Este resumo sucinto está dividido em três secções, incluindo a presente introdução. Na Secção 2, é explorada a poluição no mar apresentado o caso de estudo e explicando sucintamente como este vai ser abordado. E finalmente, na Secção 3, são descritas algumas conclusões e explorado o trabalho futuro que será efetuado ao longo desta investigação.

## 2. POLUIÇÃO NO MAR

No domínio marítimo, e no que concerne à poluição nos oceanos e mares, a legislação mais importante é a *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships* (MARPOL 73/78). Esta convenção tem como principal objetivo minimizar a poluição dos oceanos e mares, definindo procedimentos e regulamentos que devem ser seguidos pelos navios e a sua guarnição. Portugal e todos os países que aderiram a esta convenção, devem cumprir e fazer cumprir os seus procedimentos e regulamentos em qualquer parte do globo. Adicionalmente, existem também instituições que contribuem diretamente para a prevenção dos oceanos, como o *Ocean Conservancy* e a EMSA. A *Ocean Conservancy* foi fundada em 1972 por *Bill Kardash*, tendo como principal objetivo educar o seu público e motivá-los a agir em prol do meio ambiente. Nos dias de hoje, a sua missão passa por proteger os ecossistemas marinhos, opondo-se a todas as atividades que sejam consideradas um perigo para o oceano (Ocean Conservancy, 2022; G. Barr & Sheavly, 2005). A EMSA é a principal responsável por garantir assistência técnica e operacional, de forma a melhorar a segurança marítima, bem como prevenir e combater poluição no mar (European Maritime Safety Agency, 2022).

O serviço *CleanSeaNet* foi disponibilizado pela EMSA em 2007 (Baumard, 2008), permitindo assim a captura de imagens radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* - SAR) e de espectro visível (*Red, Green, and Blue* - RGB) em águas europeias (Trieschmann, et al., 2010). Após a captura destas imagens, estas são analisadas por forma a verificar a existência de possíveis derrames, obtendo assim as suas coordenadas geográficas, área e dimensão. De acordo com a ZEE em que ocorreu o possível derrame, o estado costeiro respetivo deve tomar as medidas necessárias para a sua verificação e combate. Os potenciais derrames detetados na ZEE portuguesa entre 2017 e 2021, vão ser analisados por forma a conseguir identificar as áreas mais afetadas – mar e terra (Figura 1). Depois de identificar as áreas mais afetadas, é necessário efetuar a modelação matemática do derrame ao longo do tempo. Esta modelação, deverá ter em conta a sua diluição na água e as condições meteorológicas existentes na área considerada. A análise e modelação é essencial, pois permite obter a informação necessária para projetar uma rede nacional de veículos não tripulados (aéreos e de superfície). Esta rede visa permitir uma cobertura eficiente da ZEE portuguesa, através de um posicionamento ótimo dos recursos materiais, permitindo assim uma monitorização e um combate rápido com os mínimos custos financeiros possíveis (custo vs. tempo). Seguindo uma filosofia de duplo uso, esta rede nacional poderia ser utilizada não só para a monitorização de descargas ilegais de substâncias no mar, mas também para uma vigilância marítima ativa. Isto possibilitaria também o combate

a outro tipo de ações ilícitas, como por exemplo o tráfico de droga (Witbooi, et al., 2020).

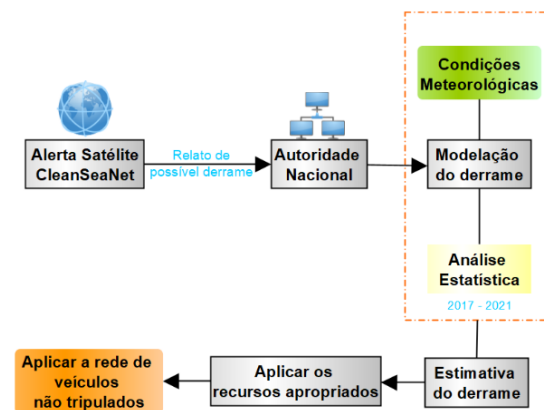


Fig. 1. Desenho e projeto de uma rede de veículos não tripulados (aéreos e de superfície) para monitorização e combate da poluição no mar - Esquema ilustrativo.

As ações legais (Purwendah, et al., 2019) a serem tomadas contra quem efetua derrames ilegais de substâncias perigosas e nocivas no mar, é outra das preocupações a ter em conta. Por forma a ter meios de prova que sejam válidos em tribunal, é necessário garantir que se chega rapidamente ao local da ocorrência procurando obter provas do flagrante delito. Estas provas devem ser maioritariamente baseadas na recolha de imagens fotográficas georreferenciadas e em amostras da suposta substância ilícita derramada no mar.

O que acontece no mar tem impacto direto em todos os seres vivos, sendo que esta investigação é um contributo direto para a sua prevenção e controlo.

## 3. CONCLUSÕES

Apesar da fase inicial em que esta investigação se encontra, apresenta as características essenciais para ser um contributo significativo para o desenvolvimento de técnicas e tecnologias militares. Esta investigação tem como principal objetivo resolver um problema real, contribuindo diretamente para a prevenção e controlo da poluição no mar. Como trabalho futuro, e seguindo a linha definida para esta investigação, será efetuada a análise dos potenciais derrames que ocorreram na ZEE portuguesa e a modelação do seu comportamento ao longo do tempo considerando as condições meteorológicas na área da ocorrência. Através destas ações, conseguiremos formular uma proposta para uma rede nacional de veículos não tripulados (aéreos e de superfície) que consiga diminuir os custos existentes e em simultâneo otimizar as tarefas de monitorização e controlo. Ao utilizar veículos não tripulados de superfície, conseguimos não só efetuar monitorização, mas também efetuar o combate (limpeza) do local. Todos os esforços envolvidos nesta investigação visam conseguir criar uma estrutura capaz de efetuar monitorização e combate em tempo real, com custos de operação que sejam considerados *aceitáveis* dada a realidade nacional.

**REFERÊNCIAS**

- Baumard, L., 2008. EMSA to Launch CleanSeaNet - European Satellite Oil Spill Monitoring and Detection Service. Portugal, European Maritime Safety Agency.
- Carpenter, A., 2015. European Maritime Safety Agency CleanSeaNet Activities in the North Sea. *The Handbook of Environmental Chemistry*, Volume 41, pp. 33-47.
- European Maritime Safety Agency, 2022. What we do. [Online] Available at: <https://www.emsa.europa.eu/we-do.html> [Accessed 12 novembro 2022].
- G. Barr, C. & Sheavly, S. B., 2005. Marine Debris Monitoring and Data Collection Activities Conducted By the Ocean Conservancy. s.l., California and the World Ocean'02: Revisiting and Revising California's Ocean Agenda.
- O'Dor, R. & Berghe, E. V., 2012. Hidden Beneath the Seas. *World Policy Journal*, 29(3), pp. 101-108.
- Ocean Conservancy, 2022. About us - For the love of the Ocean. [Online] Available at: <https://oceanconservancy.org/about/history/> [Accessed 12 novembro 2022].
- Purwendah, E. K., Mangku, D. G. S. & Periani, A., 2019. *Dispute Settlements of Oil Spills in the Sea Towards Sea Environment Pollution*. s.l., Atlantis Press.
- Rhodes, C. J., 2018. Plastic Pollution and Potential Solutions. *Science Progress*, 101(3), pp. 207-260.
- Seckler, D. et al., 1998. *World water demand and supply, 1990 to 2025: Scenarios and issues*, Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Trieschmann, O. et al., 2010. Identification of Oil Spills by Satellite. *ESA Living Planet Symposium*, Volume 686.
- Witbooi, E. et al., 2020. Organized crime in the fisheries sector threatens a sustainable ocean economy. *Nature*, 588(7836), pp. 48-56.

## Estudo de caso: O impacto do equipamento de combate no desempenho físico em ambiente urbano

J. Alves (1), N. Almeida (2, 4), P. Simões (1, 2, 3), C. Almeida (2), R. Lucena (1, 2, 4)

- (1) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL), Academia Militar, Instituto Universitário Militar. alves.jcg@exercito.pt.  
(2) Military Readiness Lab (MRLab), Academia Militar.  
(3) Centro de Matemática e Aplicações, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.  
(4) CIPER, Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa

**Resumo:** A complexidade crescente dos ambientes urbanos exige não só um grande conhecimento tático como também uma preparação física elevada.

Neste sentido, o objetivo desta investigação prende-se com o impacto do peso do equipamento de combate no desempenho físico dos militares em ambiente urbano. Para tal, o objeto de estudo é constituído por uma amostra de cinco elementos do Regimento de Comandos do Exército Português. Esta investigação, iniciou com uma revisão de literatura posteriormente complementada com a realização de um circuito no terreno.

Desta forma, o treino orientado para este ambiente considera-se uma mais valia no aprontamento dos militares para a realização de missões internacionais. Verificou-se, ao longo desta investigação, o impacto do peso do equipamento no desempenho físico dos militares diminuindo a sua capacidade aeróbia máxima sendo a presença de ameaça no circuito um fator chave. Da mesma forma, é ainda apurado o desgaste inerente à repetição da mesma tarefa.

**Palavras-chave:** Ambiente Urbano, Desempenho Físico, Equipamento, Militar, Capacidade Aeróbia.

### 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o ambiente urbano (AU) está inerente à grande maioria das operações militares sendo este um ambiente complexo e extremamente exigente no que diz respeito à preparação dos militares (North Atlantic Treaty Organization [NATO], 2017). Deste modo, a multidimensionalidade e complexidade do AU implica que haja uma focalização na preparação física e psicológica dos militares que operam neste tipo de condições (Nevin, 2017) Esta preparação específica visa garantir a prontidão dos militares antes de serem empregues no terreno, principalmente no que diz respeito aos militares de Infantaria. Estes são sujeitos a grandes cargas físicas, não só devido ao peso de todo o equipamento que necessitam carregar em operações, mas também devido às características táticas do próprio campo de batalha em AU e das tarefas que têm de executar no decorrer das suas missões.

Deste modo, devido à evolução da complexidade do AU e à cada vez mais exigência física inerente a estas operações, é essencial fazer a preparação dos militares com a linha orientadora de padrões mínimos de desempenho bem definidos e que estejam diretamente relacionados com as tarefas críticas (TC) a executar no terreno. Assim, consegue-se evitar não

só lesões e baixas como também aumentar a capacidade de resposta e de combate.

O objetivo desta investigação é caracterizar o impacto que o peso do equipamento de combate tem no desempenho e nas capacidades físicas dos militares em AU. Assim sendo, é fundamental realizar um conjunto de testes que visem analisar o esforço físico num circuito de combate em ambiente urbano (CAU) o mais próximo da realidade possível, com e sem presença de ameaça. Estes testes contemplam não só a capacidade aeróbia máxima como também outros fatores como a frequência respiratória.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Caracterização da Amostra

Para a realização desta investigação, dentro da população que é o Exército Português (EP), constituíram a amostra cinco elementos, do sexo masculino. A amostra, no que respeita à sua caracterização sociodemográfica, apresenta uma média de idades de  $24.40 \pm 3.75$  anos (tendo em consideração que o segundo valor é o desvio padrão), com uma estatura média de  $171.20 \pm 6.23$  cm e com uma média de pesos de  $73.08 \pm 3.66$  Kg.

A percentagem de carga externa dos elementos da amostra com todo o equipamento atingiu uma média de  $45.82 \pm 2.23\%$  em relação ao seu peso corporal

anteriormente referido tendo o diferente equipamento carregado por cada um dos militares um peso médio de  $33.46 \pm 2,05$  Kg. As variações no peso do equipamento devem-se às diferentes funções de cada militar dentro da equipa que estão associadas a diferentes tipos de material

## 2.2. Métodos Estatísticos

Para esta investigação, a análise estatística foi efetuada com recurso a técnicas de estatística descritivas que, de acordo com Iezzi et al. (2013), visam organizar, resumir e descrever os atributos mais importantes aos dados recolhidos. No que respeita à apresentação de informação de forma gráfica, foram utilizados gráficos de linhas e diagramas de extremos e quartis (*boxplot*) de forma a melhor interpretar toda a informação analisada.

Relativamente às medidas de localização central utilizadas, considera-se relevante o cálculo de médias e medianas enquanto que, nas medidas de localização relativa, são de referir os valores mínimos, máximos e também os quartis. Por outro lado, as medidas de dispersão aplicadas foram a amplitude amostral, amplitude inter-quartil e o desvio padrão (Pinheiro et al., 2009).

## 2.3. Instrumentos de Medição

No decorrer desta investigação, foi necessário recorrer a alguns instrumentos de medição de forma a recolher os dados ao longo de todo o trabalho de campo sendo estes importantes de abordar e referir.

Foi utilizado, para o teste da capacidade aeróbia máxima ( $VO_{2Máx}$ ), o analisador PNO $\bar{E}$ , um “analisador metabólico portátil recém-desenvolvido que foi projetado para medir as trocas gasosas em laboratório e no terreno” (Tsekouras et al., 2019, p.3). Este aparelho implica que o indivíduo em estudo use uma máscara devidamente ajustada pois opera num sistema de “*breath-by-breath*” conseguindo medir em simultâneo a concentração e o volume dos gases expirados.

Foram empregues dois acelerómetros de três eixos AX3 da *Axivity*. Estes dispositivos são resistentes à água, podendo ser configurados para trabalhar em várias frequências e que foram colocados nas duas portas do circuito para que mais tarde fosse calculada a força aplicada pelo militar em cada arrombamento.

Foi também usado o *Lactate Pro 2* da *Arkray* que apresenta os resultados em apenas 15s e tem a capacidade de guardar até três valores.

## 2.4. Protocolo Utilizado

Para a medição dos consumos de  $VO_2$  e para a obtenção dos valores de lactato num cenário o mais perto da realidade, foi criado um circuito de CAU. Este circuito foi montado no Centro de Formação e Treino de Combate em Áreas Edificadas (CFTCAE), na Escola das Armas (EA) em Mafra.

Este circuito foi realizado duas vezes por cada elemento. Numa das realizações foi estabelecido que não iria surgir nenhuma ameaça e na outra poderia haver, ou não, a presença de ameaça. Esta ameaça podia surgir nos compartimentos ou no exterior, bem como elementos civis de modo a testar a capacidade de reação e decisão destes indivíduos.

Cada circuito é composto por 3 voltas ao edifício iniciando com um deslocamento tático. Ao chegar ao ponto de entrada, os elementos efetuam o arrombamento manual das portas de forma a limparem dois compartimentos. De seguida, a equipa sai pela mesma porta e contorna todo o edifício de modo a repetir a limpeza de compartimentos mais duas vezes. Na última volta do circuito, após contornar o edifício, o elemento a ser avaliado teria que efetuar um transporte de feridos (simulado através da utilização de um manequim equipado com um peso total de 85Kg) até ao ponto inicial, cerca de 25 metros. É de considerar que, na realização dos percursos sem ameaça, o transporte de feridos é realizado apenas por um elemento enquanto que nos circuitos com ameaça esta tarefa é realizada a dois elementos.

O atirador da metrelhadora ligeira (ML) realizou um circuito diferente devido às suas funções. Este elemento, a cada volta do circuito teria de ocupar rapidamente uma nova posição de apoio próximo (já definida) em relação aos restantes elementos da equipa.

## 3. RESULTADOS

Relativamente ao arrombamento de portas foram efetuadas as medições e posteriormente os cálculos para obter o valor da força, em newtons (N), que um militar necessita para efetuar esta tarefa com sucesso.

Na Figura n.º 1, encontra-se explanada a força aplicada em cada uma das portas no circuito com e sem ameaça presente. É nítida a discrepância de valores entre a porta 1 e porta 2. Sem ameaça, a força média, de todos os circuitos, aplicada na porta 1 foi de  $237.90 \pm 87.55$  N enquanto na porta 2 foi de  $570.61 \pm 92.05$  N. Esta diferença relativa a cada porta, nos circuitos realizados com e sem ameaça, confirma-se também no circuito com ameaça onde o valor médio da força exercida, no circuito, na porta 1 foi de  $223.32 \pm 77.35$  N enquanto que na porta 2 foi de  $439.90 \pm 168.54$  N.

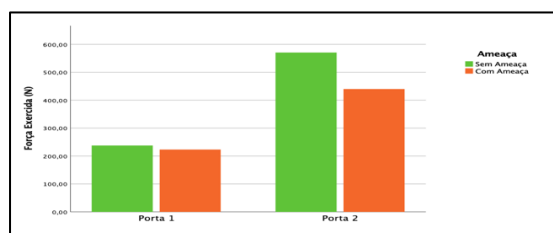


Figura n.º 1 - Valores do Arrombamento das Portas

Por outro lado, é interessante verificar o desgaste contínuo ao longo dos vários arrombamentos efetuados durante os quatro circuitos realizados. Na Figura n.º 2 podemos observar duas realidades distintas, no caso da porta 1, a força com que esta foi arrombada foi aumentando de forma global ao longo de ambos os circuitos enquanto, no caso da porta 2, a força foi diminuindo progressivamente. A força aplicada nas portas, nos circuitos com ameaça foi, de forma geral menor em comparação com a força exercida nos circuitos sem ameaça como podemos verificar até ao terceiro circuito.

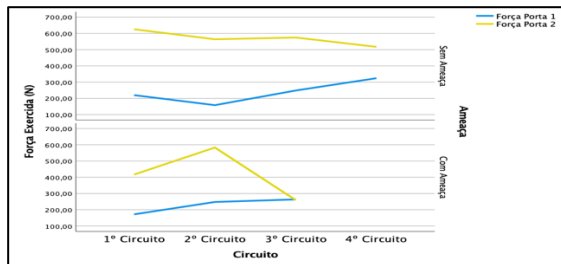


Figura n.º 2 - Força Exercida ao Longo dos Circuitos

Foram também realizados a cada indivíduo dois testes de VO<sub>2</sub>, no decorrer do circuito com e sem ameaça tendo sido registadas medições de lactato no fim de cada uma das voltas em cada um dos circuitos.

Na Figura n.º 3 encontra-se representada a média dos valores de VO<sub>2Máx</sub> obtidos pelos elementos da amostra por tipo de função tática que desempenham dentro da equipa nos dois circuitos executados. Considerando todas as funções desempenhadas, no primeiro circuito realizado, sem ameaça, a média dos valores de VO<sub>2Máx</sub> obtida foi de 29.14 ± 3.15 mL/Kg/min enquanto no segundo circuito, com ameaça, os valores obtidos são inferiores com uma média de 16.52 ± 4.08 mL/Kg/min. É ainda importante referir o aumento mais acentuado dos de VO<sub>2</sub> no final da terceira volta devido ao transporte de feridos a um elemento.

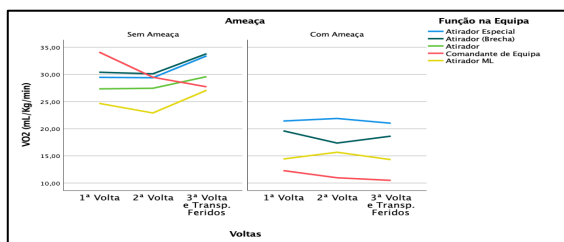


Figura n.º 3 - VO<sub>2</sub> Com e Sem Ameaça por Funções de Combate

Relativamente ao lactato, é importante referir os valores de lactato obtidos no decorrer de cada circuito comparando as diferenças inerentes à presença ou ausência de ameaça e também de acordo com as diferentes funções de combate desempenhadas pelos indivíduos.

Como podemos analisar na Figura n.º 4, os valores de lactato obtidos mostram uma certa consistência entre os vários elementos da equipa com a nítida exceção do Atirador ML que obteve valores mais elevados

devido ao desempenho das suas funções que são distintas dos restantes elementos.

Os valores obtidos refletem um valor médio de lactato sanguíneo de 5.15 ± 3.87 m.mol/L no circuito sem ameaça e de valores de 3.60 ± 2.83 m.mol/L no circuito com a presença de ameaça.

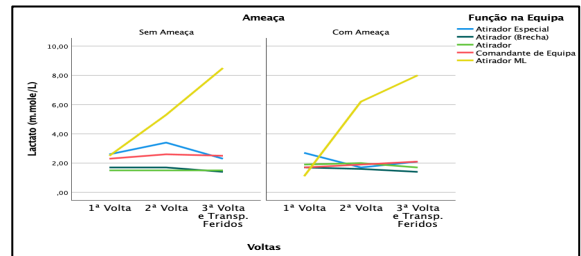


Figura n.º 4 - Lactato por Funções de Combate

É ainda interessante estudar a comparação entre a frequência respiratória e os valores de VO<sub>2</sub> obtidos ao longo de ambos os circuitos como temos presente na Figura n.º 5 estando individualizadas também as diferentes funções de cada militar de modo a comparar o impacto que as suas funções têm nos valores obtidos individualmente.

Verificou-se ainda que ao contrário do que ocorreu em laboratório, no decorrer de ambos os circuitos, os valores da frequência respiratória foram sempre bastante superiores aos valores do VO<sub>2</sub>. A única função que não foi possível avaliar foi a de atirador considerando que não foi possível registar os dados do circuito com ameaça desse elemento.

Quando comparando os valores obtidos em relação a cada função é ainda de notar, no circuito executado com ameaça, a diferença da frequência respiratória do comandante da equipa em ambos os circuitos sendo este mais elevado que a dos restantes elementos da equipa de combate destacando-se assim.

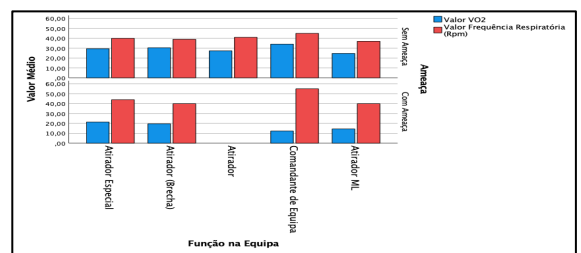


Figura n.º 5 - Relação entre o VO<sub>2</sub> e a Frequência Respiratória

#### 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Iniciando pelos resultados do arrombamento de portas, é evidente a diferença entre os valores da porta 1 e 2. Esta diferença prende-se principalmente com o facto de na primeira porta, o elemento que efetua o arrombamento ter pouco espaço para o efetivar, condicionando assim a força que este consegue aplicar sobre a porta. É também de analisar as diferenças entre o circuito sem ameaça e com ameaça onde, devido ao stress e a incerteza acerca do que iriam encontrar dentro de cada compartimento, o

elemento que arromba a porta aplicou muito mais força para a realização desta tarefa. Neste caso, o fator ameaça teve um impacto positivo no que diz respeito à concretização da tarefa.

Ainda referente aos arrombamentos é de referir o desgaste ao longo do tempo que, sendo efetuada sempre pelo mesmo indivíduo, gera cansaço e uma diminuição da capacidade. Como explanado na apresentação de resultados, ao longo dos circuitos a força com que o indivíduo arromba a porta é tendencialmente menor, principalmente na porta 2. Este facto não se verifica na porta 1, devido ao tempo de paragem necessário para a recolha dos valores de lactato, que contribuiu para que houvesse um certo descanso mesmo antes de realizar a tarefa de novo.

No que diz respeito à análise dos valores de  $VO_2$ , podemos constatar que existe uma diferença nestes consumos que se pensa estar associada às diferentes funções desempenhadas por cada indivíduo dentro da equipa no decorrer das operações. Principalmente com a possibilidade de encontrarem ameaça no circuito, os valores de  $VO_2$  são bastante baixos tendo em conta que a duração dos circuitos com ameaça foi maior devido à precisão técnica e tática exigida para o cumprimento da missão. Isto sugere que a exigência aeróbia é menor que a muscular neste contexto com ameaça e com todo o equipamento.

Por outro lado, os níveis de lactato obtidos foram bastante uniformes dentro da equipa com a exceção do Atirador ML. Este alcançou valores muito superiores devido à sua função exigir corridas curtas de alta intensidade intercaladas com momentos de repouso instalado no solo.

Ainda neste campo, podemos concluir que as variações da frequência respiratória ao longo das várias voltas de cada circuito foi praticamente residual, aumentando apenas um pouco na terceira volta. Este aumento deveu-se à realização do transporte de um ferido no final do circuito, tarefa que é bastante exigente devido à carga externa transportada. Podemos também verificar que o comandante da equipa atingiu os valores mais altos de frequência respiratória, sem e com ameaça o que se deve ao desempenho das suas funções de comando que exigem uma constante organização da sua equipa e uma comunicação ativa e constante afetando a respiração. No entanto em todas as funções neste circuito, o valor da frequência respiratória foi sempre superior ao valor de  $VO_2$  registado.

## 5. CONCLUSÕES

Analisando as várias fases do circuito, em relação ao arrombamento de portas, verificou-se que valor mínimo aceitável de força necessária a aplicar numa porta é de 98N, independentemente da função atribuída dentro da equipa.

De acordo com as diferentes funções dentro da equipa, no respeitante aos deslocamentos táticos entre casas bem como à limpeza de compartimentos, é fulcral que os militares com funções de comando sejam capazes de atuar a cerca de 28% do seu  $VO_{2Máx}$  (com equipamento) sendo necessário praticar consumos de, no mínimo, 10.50 mL/Kg/min. No caso dos Atiradores, estes deverão estar capacitados para consumos de, pelo menos, 21.02 mL/Kg/min que corresponde a sensivelmente 56% do  $VO_{2Máx}$ . Relativamente ao Atirador ML, devido à sua função na equipa, este terá de conseguir operar a cerca de 38% da sua capacidade aeróbia máxima consumindo no mínimo 14.32 mL/Kg/min. Para efetuar um transporte de feridos numa distância de 25m, a um elemento, é necessário, não obstante da função que desempenham, atingir 79% do seu valor de  $VO_{2Máx}$ , ou seja, é essencial atingir um consumo de 29.94 mL/Kg/min. Por outro lado, na mesma tarefa realizada por dois elementos, o esforço está associado apenas a 22% dos valores de  $VO_{2Máx}$  sendo o consumo de oxigénio de, pelo menos 8.40 mL/Kg/min.

Por fim, é ainda importante concluir que apesar da grande exigência aeróbia associada a movimentação rápida com todo o equipamento, a fadiga muscular relacionada com a carga externa tem um papel preponderante no desempenho físico dos militares no contexto do CAU.

## Agradecimentos

À Academia Militar pelas oportunidades disponibilizadas e por todos os conhecimentos transmitidos ao longo de todo o percurso académico.

## REFERÊNCIAS

### Artigos em revistas:

Nevin, J. (2017). The tactical athlete: optimizing physical preparedness for the demands of combat. *Professional Strength & Conditioning*, 44, 25–34.

North Atlantic Treaty Organization [NATO]. (2017). *NATO ATP-99 Urban Tactics*.

Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 1–7.

### Livros:

Iezzi, G., Hazzan, S., & Degenszajn, D. (2013). *Fundamentos da Matemática Elementar* (Vol. 11).

Pinheiro, J. I. D., Gomes, G. C., Cunha, S. B. da, & Carvajal, S. R. (2009). *Estatística Básica: A Arte de Trabalhar com Dados*. Brasil: Elsevier Editora Ltda.

## Implementação do Fabrico Aditivo na Cadeia Logística do Exército Português – Casos de Estudo

**Autores:** P. Pinheiro (1,2), L. Quinto (1,3), A. Machado (1, 4), A. Silva (2), H. Magalhães (4), P. Fernandes (1), M. Leite (3), P. Peças (3) e A. Ribeiro (3)

(1) CINAML, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Lisboa. pinheiro.pmb@exercito.pt

(2) Regimento de Manutenção, Entroncamento.

(3) IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.

(4) Unidade de Apoio Geral de Material do Exército, Benavente.

**Resumo:** Os Sistemas de Armas e restantes equipamentos orgânicos do setor da Defesa apresentam ciclos de vida bastante extensos, representando uma necessidade elevada de sobressalentes e subconjuntos que visam prolongar a sua utilização. O Projeto *ALSAM - Army Logistic Support Through Additive Manufacturing* apresenta como principal objetivo o estudo da implementação do fabrico aditivo no Exército Português, como tarefa complementar de manutenção. Também as organizações internacionais de Defesa, como a Organização do Tratado do Atlântico Norte e a Agência Europeia de Defesa têm vindo a desenvolver projetos adidos ao tema do fabrico aditivo em apoio às operações militares. Em 2021 o Exército Português projetou para o Teatro de Operações da República Centro Africana a capacidade de fabrico aditivo, atribuída ao Módulo de Manutenção. Desde então têm sido desenvolvidos casos de estudo que permitem identificar as potencialidades e vulnerabilidades da implementação desta tecnologia, em Território Nacional e em contexto operacional no estrangeiro.

**Palavras-chave:** Fabrico Aditivo, Impressão 3D, Defesa, Logística, Manutenção.

### 1. INTRODUÇÃO

Os equipamentos usados pelo setor da Defesa pela sua especificidade, elevado custo de aquisição e condições de operação apresentam ciclos de vida bastante superiores quando equiparados a outros usados em contexto civil. Estes ciclos de vida podem ultrapassar os 20 anos havendo a necessidade de manter a sua operacionalidade mesmo sob condições adversas. Ao longo do seu ciclo de vida, estes sistemas são alvo de inúmeras operações de manutenção preventiva e corretiva, sendo para tal necessário o fornecimento atempado de sobressalentes. O prolongamento do ciclo de vida dos equipamentos conduz à necessidade de utilização de sobressalentes descontinuados, escassos e de difícil aquisição, que podem implicar a aquisição de grandes quantidades de sobressalentes para precaver situações como as descritas anteriormente.

O projeto ALSAM, iniciado em janeiro de 2021, tem como principal objetivo o estudo da implementação de soluções de fabrico aditivo no apoio à manutenção no Exército Português. Pretende-se capacitar o Exército com metodologias e meios que permitam o fabrico de componentes de aplicação dual, tanto para manter o nível de operacionalidade das Unidades do Exército, com foco no apoio às Forças Nacionais Destacadas (FND), como para o apoio a entidades civis.

O projeto ALSAM é constituído por elementos, militares e civis, do Regimento de Manutenção (RMan), Unidade de Apoio Geral de Material do Exército (UAGME), Academia Militar (AM) e do

Instituto Superior Técnico, e encontra-se dividido em 3 unidades de investigação, sendo estas:

1. Estado da arte e identificação de casos de estudo para análise e implementação de metodologias de manutenção com base no fabrico aditivo;
2. Projeto e desenvolvimento de componentes através da seleção dos materiais e do desenvolvimento e melhoria de geometrias a aplicar, com base em tecnologias de design generativo;
3. Desenvolvimento e ensaio de protótipos tanto em laboratório como em ambiente real.

O objetivo final do projeto (ver Fig. 1) assenta sobre a validação da utilização de tecnologias de fabrico aditivo no apoio ao sistema logístico do Exército, tanto no fabrico de artigos descontinuados e artigos de desgaste, como no desenvolvimento de geometrias e materiais específicos para cada aplicação, potenciando a aplicação de tecnologias de fabrico como a fundição ou o fabrico subtrativo baseado em equipamentos comandados através de Controlo Numérico por Computador (CNC).

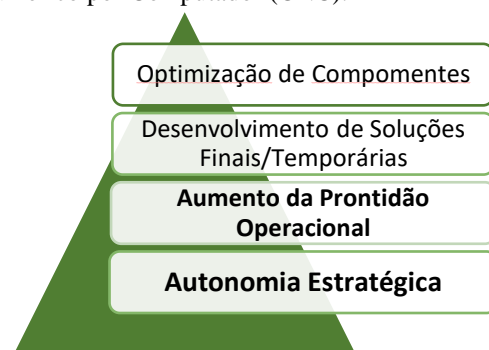


Fig. 1: Objetivos do Projeto ALSAM.

## 2. ESTADO DA ARTE

Muitas organizações/instituições mantêm quantidades significativas de sobressalentes para diminuir o Tempo Médio de Reparação (TMR), evitando tempos prolongados de inatividade de equipamentos devido a falhas de componentes. Nas operações militares, devido à sua criticidade, a falha de componentes pode resultar em perdas humanas, materiais e/ou financeiras, pondo em risco tanto a vida de militares como de civis. As operações militares ocorrem em qualquer lugar do mundo implicando uma grande adaptabilidade a diversas condições climáticas, influenciando os equipamentos de forma imprevisível. Para tal, atualmente são transportadas para os Teatros de Operações (TO) elevadas quantidades de sobressalentes de forma a mitigar o TMR dos diversos equipamentos e sistemas de armas (SA) (Boer *et al.*, 2020). No entanto, por vezes é necessário recorrer ao mercado local da Nação Hospedeira (NH) ou até mesmo ao mercado do Território Nacional (TN), tendo como consequência um *Lead Time* que pode atingir vários meses.

O fabrico aditivo, vulgarmente conhecido por impressão 3D, está identificado como uma tecnologia promissora que permite o fabrico de peças junto ao local onde existe a necessidade (Begley, 2017). Além disso, o fabrico de componentes temporários permite devolver temporariamente o estado de operacionalidade aos equipamentos, até que o sobressalente fornecido pela cadeia logística convencional seja fornecido, reduzindo assim o tempo de inoperacionalidade e aumentando a autonomia estratégica (Costa *et al.*, 2019).

Neste âmbito, o tema do fabrico aditivo em apoio às tarefas desenvolvidas pelas Forças Armadas tem vindo a ser alvo de estudo por diversas organizações internacionais, entre as quais a Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e a Agência Europeia de Defesa (EDA). A OTAN considera o fabrico aditivo como uma das áreas de investigação e desenvolvimento com maior potencial disruptivo (Reading & Eaton, 2020). Esta organização tem vindo a desenvolver documentação relativa ao futuro das tecnologias de fabrico para aplicações militares (Busachi *et al.*, 2018) e atualmente está em estudo a interoperabilidade da utilização do fabrico aditivo em operações combinadas (NATO, 2022). Paralelamente, a EDA encara o fabrico aditivo como uma tecnologia de charneira para as capacidades militares europeias, tendo por isso várias atividades relacionadas com a temática em curso, nomeadamente o projeto *Additive Manufacturing for Logistic Support* (AMLS) (EDA, 2021).

A nível nacional em 2021, o Exército Português, ao abrigo do Projeto ALSAM, projetou para o TO da RCA a capacidade de fabrico aditivo (Pinheiro *et al.*, 2022). Neste TO, além da identificação das potencialidades e limitações resultantes da aplicação

desta tecnologia em ambiente operacional, foram ainda identificados diversos casos de estudo, que após identificação são avaliados em TN quanto à viabilidade de desenvolvimento e fabrico pelas Unidades de apoio logístico e entidades civis que participam no Projeto ALSAM.

## 3. CASOS DE ESTUDO

No seguimento das 3 unidades de investigação que contribuem para as tarefas de investigação e desenvolvimento previstas no Projeto ALSAM, têm vindo a ser desenvolvidos diversos casos de estudo para o fabrico de componentes com recurso às tecnologias de fabrico aditivo, sendo o seu desenvolvimento realizado fundamentalmente em TN, mas também pelos elementos projetados no TO da RCA.

O desenvolvimento de casos de estudo segue a sequência apresentada na Fig. 2. Este fluxograma foi desenvolvido para o efeito, decorrente do conhecimento adquirido com base na pesquisa bibliográfica como de lições aprendidas derivadas atividades desenvolvidas no Projeto ALSAM. Uma vez identificada a necessidade de um sobressalente ao qual nem o Canal Normal de Reabastecimento (CNR), nem o Mercado Civil/Local conseguem satisfazer, verifica-se se a peça já foi fabricada previamente e se já se encontra na base de dados de fabrico disponível para consulta. Caso a peça exista na base de dados, são ponderadas as capacidades de fabrico existentes no TO, ou em TN, e é enviado o ficheiro para fabrico da peça em falta.

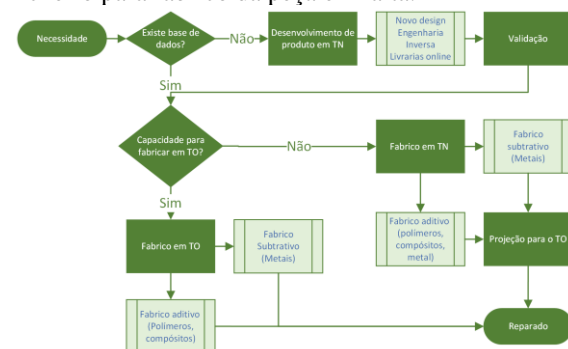


Fig. 2: Fluxograma de Fabrico proposto pelo Projeto ALSAM.

Caso não exista em base de dados, é iniciado um processo de desenvolvimento de produto, no qual podem ser consultadas outras bases de dados disponíveis, ou pode ser iniciado o processo de engenharia inversa ou desenvolvimento de uma nova geometria.

Após produzido o protótipo, o mesmo é ensaiado e validado. Uma vez validado segue as restantes etapas do fluxograma até se dar por concluída a reparação do equipamento.

De seguida, serão explanados alguns exemplos de produtos desenvolvidos no âmbito do projeto.

### 3.1. Estabilizador de Corrente com proteção IP34

O estabilizador de corrente (Ver Fig. 3) é um componente pertencente ao Sistema de Armas PANDUR II 8x8.



Fig. 3: Estabilizador de Corrente para VBR PANDUR II 8x8.

Após análise do histórico de manutenção destes equipamentos, verificou-se que a avaria do componente está associada à falta de proteção adequada contra água, pelo que aumentando o nível de proteção com introdução de uma nova geometria no componente original, é expectável que o número de avarias diminua significativamente.

Tendo em conta o custo de aquisição do componente e que o SA PANDUR II 8x8 se encontra em operação no TO da RCA, a produção deste componente através do fabrico aditivo com os meios disponíveis representa uma melhoria nas reparações associadas a este componente.

O projeto deste componente encontra-se atualmente em fase de desenvolvimento na UAGME, apresentando um custo de produção reduzido comparativamente ao custo de aquisição de um equipamento novo, pelo que depois de se ultrapassar a fase de desenvolvimento e ensaios computacionais (ver Fig. 4), será desenvolvido um protótipo que será alvo de ensaios em condições de utilização expostas a elevadas taxas de humidade.

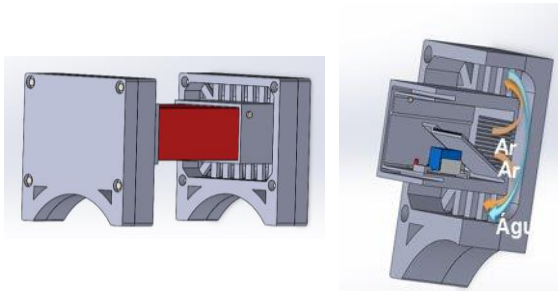


Fig. 4: Geometria desenvolvida para Estabilizador de Corrente com proteção IP34.

### 3.2. Proteção de Lentes para Mira Ótica CompM4

As miras óticas intermutáveis com um sistema de acoplamento universal fazem parte do grupo de equipamentos adquiridos no âmbito do novo armamento ligeiro do Exército. Para proteção das lentes da mira da ação de agentes externos (por exemplo salpicos de poeiras,...) existe um componente fornecido pelo fabricante (ver Fig. 5) no entanto o uso do mesmo não se torna prático no decorrer das operações militares, danificando-se facilmente. Estas duas características conduzem à ruína prematura das lentes da mira ótica, limitando a capacidade operacional da Força.



Fig. 5: Proteção de Lentes fornecida com o equipamento.

Perante isto, e de forma a extender o período de vida da mira ótica foi desenvolvida uma solução diferente da original (ver Fig. 6) mais robusta e fiável, capaz de responder às necessidades operacionais identificadas. Este projeto encontra-se na fase de ensaios do protótipo desenvolvido tanto em laboratório como em ambiente relevante, nomeadamente durante Exercícios.



Fig. 6: Geometria desenvolvida no projeto da Proteção de Mira Ótica.

### 3.3. Difusor de ar

O difusor de ar das viaturas táticas ligeiras HMMWV (ver Fig. 7) em estudo é um componente do sistema de ventilação e ar condicionado do habitáculo destas viaturas, em utilização no TO da RCA.



Fig. 7: Difusor de Ar de HMMWV.

As avarias deste componente estão associadas à sua utilização intensiva em condições adversas bem como à idade avançada das viaturas em questão, resultando na degradação ou rotura dos veios de fixação interiores das alhetas reguláveis ou das patilhas de fixação da estrutura.

Com o objetivo de ultrapassar as dificuldades de aquisição existentes, através de *Letters of Agreement* (LOA) ou *Foreign Military Sales* (FMS) com os Estados Unidos da América (EUA), a produção deste componente através do fabrico aditivo representa uma solução mais económica e mais célere para as ações de manutenção corretivas às viaturas da tipologia HMMWV.

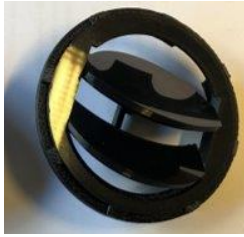


Fig 8: Protótipo de Difusor de Ar desenvolvido para as viaturas HMMWV.

### 3.4. Manivela do sistema de Elevação de Vidro

A manivela em estudo é um componente do sistema de elevação dos vidros das portas laterais das viaturas Land Rover Defender. Verifica-se um incremento no número de avarias deste sobressalente causado pela degradação dos entalhes interiores da coroa dentada ou da mola de fixação ao veio do sistema de elevação não permitindo o seu correto funcionamento.

A solução desenvolvida permite a substituição do componente original, garantindo a sua funcionalidade, este componente encontra-se atualmente em fase de desenvolvimento no RMan.

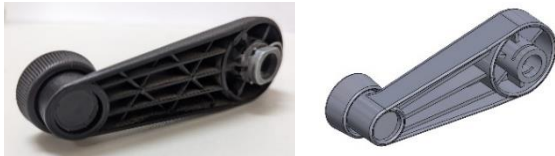


Fig 9: Desenvolvimento de manivela para sistema de elevação de vidros.

## 4. CONCLUSÕES

Devido à sua natureza, os equipamentos, viaturas e Sistemas de Armas em utilização no Exército Português apresentam ciclos de vida longos, sendo a operacionalidade dos equipamentos garantida através de intervenções no âmbito da Manutenção.

Através do recurso à investigação, projeto, desenvolvimento e fabrico de componentes que visam substituir e/ou melhorar os originais, é possível manter o nível de operacionalidade das forças, bem como reduzir o custo das peças utilizadas na manutenção dos equipamentos e Sistemas de Armas. A utilização de novas técnicas de fabrico, reduzem não só o custo unitário do artigo, mas também todos os custos logísticos associados à aquisição, transporte, armazenamento e outros.

Através dos Casos de Estudo apresentados pretende-se demonstrar a eficiência do desenvolvimento e fabrico de componentes usando a tecnologia conhecida como “Impressão 3D”. Verifica-se ainda que o custo de produção de uma peça, junto ao local onde surge a necessidade, é, em alguns casos, consideravelmente inferior ao seu valor quando fabricada com técnicas de fabrico convencionais.

A utilização das tecnologias de fabrico aditivo permite, que num curto espaço de tempo, satisfazer uma necessidade real de uma determinada peça em TO ou TN, permitindo ainda o desenvolvimento de

geometrias diferentes mais eficientes e fiáveis para cumprimento da sua função.

A projeção da capacidade de fabrico aditivo para um TO acarreta elevados custos logísticos, que podem ser justificados pela necessidade de manutenção desse local. Com a capacidade de fabrico em pleno funcionamento estima-se que os TMR dos equipamentos, viaturas e armamento e os *Lead Time* associados ao tempo de espera por novos sobressalentes e/ou subconjuntos será significativamente menor, contribuindo para eficácia e eficiência no cumprimento das tarefas logísticas e operacionais do Exército Português.

### Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao Exército Português, através do Regimento de Manutenção, Unidade de Apoio Geral de Material do Exército e CINAMIL (ALSAM/2021/CINAMIL), bem como à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), através do IDMEC (UIDB/50022/2022/LAETA/IDMEC).

### REFERÊNCIAS

- Begley, L. (2017). *Increasing Capabilities and Improving Army Readiness through Additive Manufacturing Technologies*. Army War College.
- Boer, J., Lambrechts, W. & Krikke, W. (2020). Additive manufacturing in military and humanitarian missions: Advantages and challenges in the spare parts supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 257.
- Busachi, A., Kuepper, D., Brunelli, J., Heising, W., Moeller, C., Fischer, D., Watts, C., Drake, R., Salter, K. & Banfi, S. (2018). *Additive Manufacturing – Rapid Support System (AM-RS2): Concept Design of a deployable AM unit for War Theatre*. NATO Science and Technology Organization.
- Calignano, F., Mandredi, D., Ambrosio, E., Biamino, S., Lombardi, M., Atzeni, E. & Fino, P. (2017). *Overview on Additive Manufacturing Technologies*
- European Defence Agency. (2021). *Additive manufacturing – A capability enabler for logistic support*. Fact Sheet.
- NATO. (2022). *2022 Collaborative Program of Work*. NATO Science and Technology Organization
- Pinheiro, P., Quinto, L., Machado, A., Leite, M., Chambel, É., Peças, P., Ribeiro, A. & Fernandes, P. (2022). Portuguese Army Additive Manufacturing Capability Development. *International Society of Military Sciences Conference 2022, Lisboa*.
- Reding, D. F., & Eaton, J. (2020). *Science & Technology Trends 2020-2040*. NATO Science & Technology Organization. Brussels.

## Sistema de arrefecimento da componente eletrónica e baterias em veículos militares não tripulados (COOLUAV)

A.S. Moita (1), J. Torres (1), L. Quinto, E. Chambel (1), P. Pontes (2) e A. L. N. Moreira (2)

- (1) Centro de Investigação Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203 Lisboa, Portugal. [moita.asoh@exercito.pt](mailto:moita.asoh@exercito.pt)
- (2) IN+, Centro de Estudos em Inovação, Tecnologia e Políticas de Desenvolvimento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal.

**Resumo:** O uso de veículos não tripulados desempenha cada vez mais um papel fundamental no teatro de operações. UAV's podem apresentar tempos de voo elevados, da ordem dos 45min, dependendo da missão. Condições idênticas surgem na operação de veículos autónomos terrestres. Durante a operação, as condições de funcionamento têm de se manter estáveis. Porém, a taxa de consumo de energia (armazenada nas baterias) é muito elevada, pelo que os componentes electrónicos são de densidade de potência elevada, sendo a dissipação de calor pouco eficiente. O aquecimento do sistema eletrónico conduz a um aumento de resistência e a uma global redução drástica da eficiência da maioria dos componentes electrónicos. Neste contexto o projecto aqui descrito considera o desenvolvimento e teste de um sistema modular para arrefecimento de componentes electrónicos e principalmente baterias em veículos não tripulados. A solução a integrar será do tipo micro-termosifão, que não necessita de potência adicional para ser alimentado.

**Palavras-chave:** arrefecimento, componentes electrónicos, baterias, sistema modular a líquido, veículo não tripulado.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso de veículos não tripulados em diversas actividades associadas à Defesa tem aumentado drasticamente nos últimos anos. Por exemplo, nos Estados Unidos da América, o desenvolvimento de drones para aplicações na Defesa tornou-se dominante na indústria desde 2018 (In: Army Technology, 2020). Também em Portugal, a sua crescente importância tornou o desenvolvimento e aplicação de veículos não tripulados numa das linhas de investigação prioritária na Agenda de I&D do Exército Português, sendo de elevada relevância para todos os ramos das Forças Armadas. Inicialmente usados em vigilância, os veículos militares autónomos e/ou não tripulados desempenham atualmente tarefas complexas em teatro de operações, o que conduz a um aumento da complexidade da eletrónica usada. O aumento da densidade eletrónica em sistemas e empacotamentos cada vez mais reduzidos traz problemas variados de dissipação da potência térmica, que conduzem à redução do desempenho dos mesmos (Jung e Jeong, 2017; Ma *et al.*, 2019, Quinty, 2021). Em termos de fornecimento de energia, as baterias de lítio são as mais comumente usadas (Quinty, 2021). A descarga das mesmas durante a operação em missão pode ser considerável, principalmente em condições transientes, conduzindo a elevados e súbitos aumentos da temperatura das mesmas devido a fenómenos complexos associados

às reacções químicas, resistência ohmica e polarização (Zhu *et al.*, 2013). Por sua vez, este aumento de temperatura acelera o processo de descarga, reduzindo significativamente o tempo de autonomia dos veículos (Quinty, 2021). O aquecimento não controlado da bateria pode ainda conduzir a problemas de estabilidade (Karimi e Li, 2013), degradação da capacidade da bateria (Yonghuang, 2015) e até conduzir a riscos de incêndio/explosão (Wang *et al.*, 2016). Alguns autores (Yonghuang, 2015) recomendam que a temperatura de trabalho se situe entre os 20°C e os 40°C, o que só é possível empregando técnicas de arrefecimento a líquido (Quinty, 2021). Neste contexto, alguns autores têm trabalhado no uso dos chamados PCM (Phase Change Materials), i.e. fluidos com partículas ou materiais que mudam de fase numa gama específica de temperaturas (Tiari *et al.*, 2016). Porém estes colóides têm por vezes problemas de estabilidade e obrigam a gastos adicionais relacionados com a bombagem. Por outro lado, os *heat pipes* (Ye *et al.*, 2018, Smith *et al.*, 2018), são considerados como super-arrefecedores (Quinty, 2021), porém podem ser bastante dispendiosos em termos de materiais e de implementação. Os *sprays* têm associados elevados coeficientes de transferência de calor (Kinney, 2009), mas a sua implementação pode tornar-se bastante complexa. Neste contexto, o arrefecimento baseado na ebulição nucleada aparece como uma solução simples e muito eficiente do ponto de vista da

capacidade da transferência de calor, dado que combina diversos processos de transferência de calor, sendo simples de implementar em termos de hardware (Miller, 2014). É de realçar que na maioria dos trabalhos apresentados, a implementação destas soluções em veículos não tripulados tem sido estudada apenas sob o ponto de vista teórico/computacional.

A equipa de trabalho aqui reunida tem desenvolvido na última década, diversas soluções de arrefecimento baseadas no impacto de *sprays* e na ebulição nucleada (e.g. Pontes *et al.*, 2020). Neste contexto, o presente trabalho explora o desenvolvimento de um sistema de arrefecimento baseado na ebulição nucleada. O projecto considerará o uso de interfaces micro e nano-modificadas, aproveitando o extenso conhecimento da equipa também nesta área (e.g. Abreu *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2020) e aproveitando também o conhecimento que está a ser produzido no âmbito de outras aplicações de arrefecimento para a defesa que estão a ser desenvolvidas na Academia Militar. Considerando a necessidade de desenvolver uma solução robusta e que seja facilmente implementada em termos logísticos, usando as competências e capacidades de fabrico existentes nas Forças Armadas, serão avaliadas as potencialidades de recorrer a diferentes métodos de fabrico aditivo *vs* subtrativo, tirando também partido do conhecimento da equipa reunida e das capacidades de fabrico implementadas no Laboratório de Mecânica da Academia Militar.

## 2. METODOLOGIA DE IMPLEMENTAÇÃO

O projecto aqui apresentado está dividido em cinco grandes fases, às quais estão associadas diversas tarefas:

Fase 1: Revisão da literatura e avaliação do funcionamento dos sistemas eletrónicos dos veículos militares não tripulados:

Nesta fase do projecto, dentro dos modelos já adquiridos pretende-se compreender o funcionamento, os ciclos de carga/descarga e as necessidades de dissipação térmica para poder desenvolver um modelo numérico de auxílio no desenvolvimento do sistema de arrefecimento. Fazendo uma pesquisa geral, as curvas características usadas para desenvolver o sistema de arrefecimento serão *benchmarks* características de um conjunto de veículos. Caso o comportamento seja muito distinto optar-se-á por um equipamento específico já adquirido e em operação no Exército Português.

Fase 2: Caracterização das necessidades de potência e dissipação térmica em regime transiente:

Nesta fase procede-se à caracterização dos ciclos de potência e das necessidades de dissipação térmica, relacionando-as tanto quanto possível, como em Ma *et al.* (2019). Nesta fase proceder-se-á à

caracterização da resistência térmica equivalente do sistema a arrefecer, variação temporal da temperatura e avaliação do fluxo térmico dissipado. Os perfis de potência usados para realizar esta caracterização serão fornecidos mediante a análise efectuada na Fase 1. Técnicas avançadas de diagnóstico serão usadas para esta avaliação, tais como a visualização e a termografia com elevada resolução espacial e temporal. Estas técnicas serão complementadas com metodologias mais tradicionais, considerando a caracterização da pressão e da temperatura com sensores adequados. A carga térmica será simulada por resistência eléctrica e/ou transistors, que são alimentados seguindo as curvas de potência estabelecidas na fase anterior do projeto. Existem já vários modelos de sistemas básicos de termosifões que podem ser utilizados nestes testes preliminares, para auxiliar na definição da geometria a usar no modelo numérico a criar, para desenvolver em detalhe o sistema de arrefecimento.

Fase 3: Modelo numérico do sistema a desenvolver:

Uma vez caracterizado o sistema a arrefecer, será criado um modelo numérico para projetar e otimizar o sistema de arrefecimento a desenvolver, usando os dados e informações obtidas nas duas primeiras fases do projecto. Este sistema apresenta uma configuração do tipo termosifão, com um evaporador e um condensador. O evaporador considerará a possível inclusão de interfaces micro/nano modificadas, para melhoria dos processos de transferência de calor. A instalação preparada na Fase 2 será ajustada para a realização de testes de validação do modelo numérico desenvolvido.

Fase 4: Montagem e teste do sistema de arrefecimento

Após a análise de todos os pormenores abordados nas fases anteriores, estabelecendo a geometria e características do sistema a usar, proceder-se-á à sua montagem. Nesta fase, será realizado um pequeno estudo para avaliar as técnicas de fabrico mais adequadas a uma produção mais intensiva dos componentes do sistema, em particular do condensador e do evaporador, avaliando de entre uma abordagem aditiva *vs* subtrativa, qual a mais vantajosa. A avaliação será efectuada do ponto de vista técnico, de uso de recursos e materiais e dos custos associados ao fabrico.

Depois de montado, o sistema será testado para avaliação da sua eficácia. Nesta fase do trabalho, o sistema será avaliado em ambiente laboratorial, onde, recorrendo à instrumentação e técnicas usadas nas fases 2 e 3 (na validação do modelo), será avaliada a nova resistência térmica do conjunto, avaliando também a eficiência no arrefecimento/dissipação da potência, por monitorização da evolução temporal da temperatura, do fluxo de calor e os coeficientes convectivos e eventuais parâmetros adimensionais complementares, tipicamente usados para avaliar os

processos de transferência de calor (e.g. número de Nusselt).

Fase 5: Integração do sistema no equipamento e teste em ambiente relevante:

Nesta fase o sistema de arrefecimento será integrado no veículo não tripulado, recorrendo à competência reunida no CINAMIL e o equipamento integrado será testado em condições relevantes para os cenários em que será usado, na Academia Militar.

### 3. RESULTADOS PRELIMINARES

Numa fase preliminar, e enquanto se definem ainda os constrangimentos e geometria do sistema a desenvolver, realizaram-se alguns ensaios num evaporador em fase de desenvolvimento, para avaliar se o processo de ebulição é suficiente para dissipar os fluxos de calor relevantes na aplicação considerada. Nesta fase, o líquido de trabalho usado foi água destilada, previamente desgaseificada. O evaporador é uma câmara de metal, com acesso ótico por janelas de vidro, sendo o metal isolado com material isolante refratário. A água é aquecida por meio de resistências eléctricas controladas por um controlador PID, que permite manter o líquido em condições de saturação, à pressão no interior da câmara (pressão ambiente). O controlador atua mediante a informação da temperatura da água que é recebida por termopares tipo K, em contacto com o líquido. A pressão é medida por um transdutor de pressão OMEGA DYNE INC, que com o auxílio de um sistema de válvulas, permite manter a pressão no interior da câmara a um valor constante de  $1\text{bar} \pm 10\text{mbar}$ . Os termopares medem com uma precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . A superfície que sela o sistema é esticada e suportada por uma base isolada com Teflon. Esta superfície é uma folha de aço inoxidável AISI 304, com  $20\mu\text{m}$  de espessura, e área total de  $50\text{mm} \times 38\text{mm}$ , que é diretamente alimentada por corrente contínua usando uma fonte HP6274B DC. Desta forma é possível impor um fluxo de calor de valor conhecido, gerado por efeito de Joule. Uma câmara de alta velocidade (Phantom® v4.2 da Vision Research) capta a dinâmica dos processos de ebulição a  $1000\text{fps}$ , estando sincronizada com uma câmara termográfica de elevada resolução temporal e espacial (ONCA-MWIR-InSb from Xenics – ONCA 4696 series) que permite obter informação sobre a distribuição da temperatura na superfície de aço inoxidável que está a ser arrefecida. A relação microns/pixel obtida para a configuração ótica da câmara de alta velocidade é de  $40\text{microns/pixel}$ . A resolução obtida para a câmara termográfica são  $100\text{microns/pixel}$ . Com base no conhecimento obtido em estudos anteriores (e.g. Pontes *et al.*, 2020), sabe-se que é benéfico criar na interface de arrefecimento, regiões superhidrofóbicas que, ao repelirem o líquido, favorecem o início da nucleação e ebulição, para valores de

sobreaquecimento muito baixos ( $1\text{--}3^\circ\text{C}$ ) e que permitem o crescimento e destacamento das bolhas, que permanecem confinadas nestas regiões. Pontes *et al.* (2020) verificaram também que a distância óptima entre regiões superhidrofóbicas é igual ao seu diâmetro, pois permite que as bolhas cresçam isoladamente, se destaquem e coalesçam a alguns milímetros da superfície, promovendo a convecção de líquido fresco entre elas, na restante superfície, que é hidrofílica. Estas superfícies hidrofílicas com um padrão de regiões hidrofóbicas ou superhidrofóbicas designam-se por superfícies bifílicas. Porém, o trabalho de Pontes *et al.* (2020) não permitiu otimizar a dimensão destas regiões superhidrofóbicas. Essa optimização foi então realizada agora, fazendo variar o diâmetro das regiões superhidrofóbicas entre  $5.2\text{mm}$  e  $0.8\text{mm}$  (considerando técnicas de impressão por máscara e recorrendo à impressão por fabrico aditivo para o fabrico da máscara). Os resultados demonstram que até  $0.8\text{mm}$ , a redução do diâmetro das regiões superhidrofóbicas se traduz num aumento da frequência de destacamento das bolhas da superfície, como ilustrado na Fig. 1.

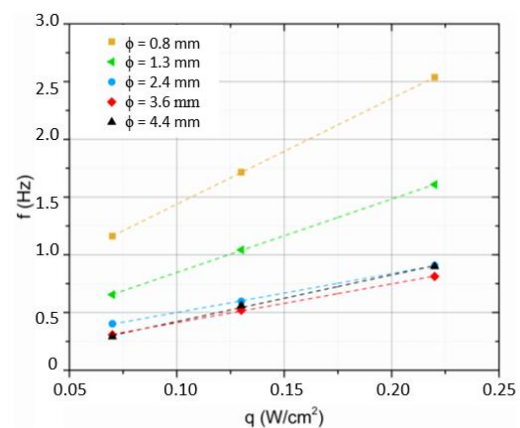


Fig. 1. Comparação da frequência média de destacamento das bolhas, durante o processo controlado de ebulição sobre uma superfície bifílica, para padrões com diferentes diâmetros das regiões superhidrofóbicas  $\phi$ .

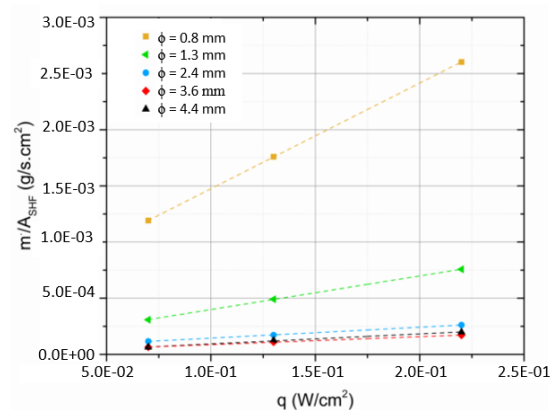


Fig. 2. Comparação do caudal evaporado, durante o processo controlado de ebulição sobre uma superfície bifílica, para padrões com diferentes diâmetros das regiões superhidrofóbicas  $\phi$ .

O caudal mássico de líquido evaporado é diretamente proporcional a esta frequência de destacamento das bolhas, pelo que, consistentemente se verifica uma promoção do processo de evaporação nestes padrões com os diâmetros das regiões superhidrofóbicas menores (Fig. 2). Por sua vez, a parcela de calor latente retirado é diretamente proporcional ao caudal evaporado, pelo que os resultados demonstram vantagem em usar este padrão bifilico para melhorar o processo de transferência de calor no evaporador. É agora necessário, ao definir as dimensões exatas do sistema e do evaporador, verificar a sua compatibilidade com estes padrões.

#### 4. CONCLUSÕES

O projecto aqui apresentado considera o desenvolvimento e teste de um sistema modular para arrefecimento de componentes electrónicos em veículos não tripulados. O sistema a desenvolver apresentará uma configuração do tipo micro-termosifão, que não necessita de potência adicional para ser alimentado. Testes preliminares realizados para o projeto do evaporador, que ficará em contacto com os componentes a arrefecer, mostra que a modificação das superfícies criando padrões superhidrofóbicos de escala micrométrica permite controlar o processo de mudança de fase e aumentar a parcela de calor latente retirada, melhorando assim a eficácia de arrefecimento do sistema em desenvolvimento.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao Exército Português o apoio financeiro concedido através do projeto CINAMIL – COOLUAV: Sistema de arrefecimento da componente eletrónica e das baterias em veículos militares não tripulados.

#### REFERÊNCIAS

- Abreu, V., Harrison, M., Gess, J., Moita, A.S. (2018). Two-phase thermosiphon cooling using integrated heat spreaders with copper microstructures. Proc of the *IEEE ITherm*, pp.645-652. DOI: 10.1109/ITHERM.2018.8419644.
- Army Technology: Drones in Aerospace and Defence: Macroeconomic Trends (armytechnology.com) (accessed 2020).
- Jung S, Jeong H. (2017). Extended Kalman filter-based state of charge and state of power estimation algorithm for unmanned aerial vehicle Li-Po battery packs. *Energies*, 10(8),13.
- Karimi G, Li X. (2013). Thermal management of lithium-ion batteries for electric vehicles. *Int. J. Energy Res.*, 37(1),13-24.
- Kinney, D. (2009) UAVs embrace the benefits of direct spray cooling, *COTS J. J. Military Electron. Comput.*, 2, 5–6.
- Li, X., Wang, G., Moita, A. S., Zhang, C., Wang, S., Liu, Y. (2020). Fabrication on bio-inspired non-fluorinated superhydrophobic surfaces with anti-icing property and its wettability transformation analysis. *Applied Surface Sci.*, 505,144386.
- Ma, Y., Chiang, S. W., Chu, X., Li, J., Gan, L., Xu, C., Yao, Y., He, Y., Li, B., Kang, F., Du, H. (2019).
- Miller, R. (2014). New from 3M: Boiling liquid to cool your servers, Data Center Knowledge.
- Pontes, P., Cautela, R., Teodori, E., Moita, A.S., Liu, Y., Moreira, A.L.N., Nikulin, A. Del Barrio, E. (2020). Effect of pattern geometry on bubble dynamics and heat transfer on biphilic surfaces. *Exp. Thermal Fluid Sci.*, 115(1),110088.
- Quinty, G. (2021). Thermal management techniques in avionics cooling, *Aerospace and Defense*, August 2021. (<https://www.aerodefensetech.com/component/content/article/adt/features/articles/39672>)
- Smith J, Singh R, Hinterberger M, Mochizuki M. (2018). Battery thermal management system for electric vehicle using heat pipes. *Int J. Therm Sci.*, 134,517-529.
- Thermal design and optimization of lithium ion batteries for unmanned aerial vehicles, *Energy Storage*, 1,e:48.
- Tiari S, Qiu S, Mahdavi M. (2016). Discharging process of a finned heat pipe-assisted thermal energy storage system with high temperature phase change material. *Energy Convers. Manag.*, 118,426-437.
- Wang Q, Jiang B, Li B, Yan Y. (2016). A critical review of thermal management models and solutions of lithium-ion batteries for the development of pure electric vehicles. *Renew Sustain. Energy Rev.*, 64,106-128.
- Ye X, Zhao Y, Quan Z. (2018). Experimental study on heat dissipation for lithium-ion battery based on micro heat pipe array (MHPA). *Appl. Therm Eng.*, 130,74-82.
- Yonghuang Y. (2015). A study on the thermal behaviour and capacity recovery of Lithium-Ion batteries and their thermal management using heat pipes, 224.
- Zhu C, Li X, Song L, Xiang L. (2013). Development of a theoretically based thermal model for lithium-ion battery pack. *J. Power Sources*, 223,155-164.

## Sistema de Energia Renovável integrado no Fardamento Militar

João Paulo N. Torres (1)(2), Helena Isabel Abrantes de Gouveia da Mota Veiga (1),  
P. Mendonça dos Santos (1)(2), Maria João Martins (1), Paula Figueiredo (1)  
Henrique Cunha(1), Rui Gomes (3)

- (1) Academia Militar (AM), CINAMIL, Instituto Universitário Militar (IUM), DCEE, Campus da Amadora, 2720-113 Amadora, Portugal
- (2) Instituto de Telecomunicações, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal
- (3) System's Engineer - Tactical CIS Engineering Support Team na Exército Português

**Resumo:** O objetivo principal deste trabalho, é a inclusão de uma tinta solar e de materiais piezoelétricos no fardamento militar por forma a produzir energia elétrica através destas duas fontes de energia renováveis; a primeira que permite a conversão da energia solar em elétrica e a segunda que permite a conversão da energia mecânica em elétrica. Os objetivos intercalares do projeto são: O fabrico e teste da tinta solar. A tinta será fabricada pelos investigadores do presente projeto no laboratório de Química da Academia Militar; a escolha dos materiais piezoelétricos a serem utilizados; a inclusão dos objetivos anteriores num sistema eletrónico integrador que irá permitir o carregamento de uma pequena bateria; O teste do sistema eletrónico integrador num contexto real e por último a possibilidade de registar uma patente.

**Palavras-chave:** tinta solar, piezoelétricos, sustentabilidade.

### 1. INTRODUÇÃO

A humanidade encontra-se numa corrida contra o tempo no que toca à diminuição da poluição ambiental, e neste contexto, existe cada vez mais a necessidade de a humanidade ser capaz de usufruir das energias renováveis em diversos contextos no dia a dia. Deste modo, existe a necessidade de o Exército se alinhar com este princípio dotando-se de diversas soluções integradoras capazes de usufruírem destas fontes de energia. Existem diversas fontes de energias renováveis, no entanto, neste projeto só irão ser utilizadas duas delas: a solar (célula solar) e a mecânica (piezoelétricos). Pretende-se incluir estas duas fontes no fardamento militar através de uma solução integradora leve e de fácil acesso que irá permitir o armazenamento de energia elétrica.

Atualmente, as células fotovoltaicas [1] mais utilizadas são feitas de silício (Si), telureto de cádmio (CdTe), seleneto/sulfeto de cobre e índio (CIS) ou materiais de multi-junção[2]. No entanto, os processos de produção destas células solares são caros e complexos limitando a sua aplicação. Atualmente, surgiram células solares de terceira geração como por exemplo as células solares sensibilizadas por corantes (DSSCs)[3], as células solares de polímeros orgânicos e as células solares de perovskite [4,5]. Estas células solares de terceira geração são projetadas para terem um baixo custo tendo como base o barato, simples e fácil processo de produção [3,6].

Nas últimas décadas, a célula solar sensibilizada por corantes (DSSC) tem sido amplamente investigada devido às suas notáveis vantagens, como a coloração, o processo simples de fabricação, a possibilidade de impressão roll-to-roll e uma eficiência razoável.

Relativamente ao conceito de tinta solar, ela já existe há algum tempo, porém os progressos foram muito limitados para tornar o conceito uma realidade devido aos vários desafios tecnológicos que enfrenta. O aparecimento de nanocristais inorgânicos (pontos quânticos, QDs) em células solares sensibilizadas fornecem oportunidades únicas para projetar as células solares como uma tinta. A utilização dos QDSSCs deu um salto considerável com a introdução da cosensitização do CdS e do CdSe, que possibilitou o aumento da eficiência de conversão de energia dos QDSSCs para 4,22%[7]. Desde então, muitos QDs inorgânicos foram investigados para melhorar ainda mais o PCE dos QDSSCs. Nos últimos anos, o interesse pelos QDSSCs[1-9] ressurgiu numa série de artigos de pesquisa que alegam um aumento significativo da PCEs e da estabilidade destas células solares[9-16].

A disponibilidade de uma grande variedade de QDs como sensibilizadores surge como uma possibilidade no desenvolvimento de uma tinta solar[17,18]. Nanopartículas de TiO<sub>2</sub> ou óxido de zinco (ZnO) têm sido usadas de modo a favorecer a sensibilização numa grande área superficial. No entanto, estas requerem um condicionamento a altas temperaturas (400-550 °C) para formar uma película com uma alta condutividade elétrica e boa estabilidade mecânica. Infelizmente, quase todos os QDs usados para a sensibilização acabam por sofrerem decomposição a altas temperaturas. Assim, um dos principais desafios da tinta solar é o de desenvolver um procedimento a baixas temperaturas para a fabricação de uma película TiO<sub>2</sub> mantendo o sensibilizador intacto.

Apesar das limitações atuais, a tinta solar tem atraído cada vez mais o interesse dos investigadores no desenvolvimento desta nova tecnologia[19,20].

Outra forma de conversão de energia é a conversão da energia mecânica em energia elétrica que pode ser alcançada através dos materiais piezoelétricos.

Os materiais piezoelétricos possuem um baixo custo são leves, e fáceis de controlar. São conhecidos pela sua adaptabilidade numa vasta gama de aplicações e podem ser facilmente moldados em diversas formas. Os materiais piezoelétricos mais utilizados hoje em dia na engenharia automóvel e aeroespacial são o Zirconato de Chumbo Titanato (PZT), o Titanato de Chumbo (LT), o Niobato de Potássio de Sódio (SPN), o Niobato de Magnésio de Chumbo (PMN), e o Niobato de Chumbo (LMN). Dos cinco materiais mencionados, o Zirconato de Chumbo Titanato (PZT) é o mais utilizado devido à sua vasta gama de aplicações, é bastante utilizado na reparação de fissuras, e no controlo da forma e da vibração de estruturas [21,22]. Diversos materiais piezoelétricos foram produzidos ao longo do último século, sendo a perovskite zirconato de chumbo titanato, mais conhecido como o PZT, o mais popular. O material é frequentemente dopado com nióbio ou lantânio para formar materiais piezoelétricos macios ou duros dependendo da dopagem. Embora o PZT seja o material mais predominante é também tóxico pois contém chumbo. Existe a necessidade de um esforço substancial e contínuo de investigação para encontrar outras alternativas não tóxicas ou menos tóxicas [23-26]. Recentemente, Gao e tal. [27] desenvolveram um PNN PZT ( $0.55\text{Pb}(\text{Ni}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-}0.135\text{PbZrO}_3\text{-}0.315\text{PbTiO}_3$ ) cerâmico com um coeficiente de acoplamento mais elevado do que o as cerâmicas PZT convencionais. Enquanto que as cerâmicas piezoelétricas são baratas e oferecem um bom acoplamento são também frágeis [28-30].

Embora exista formas de produzir materiais piezoelétricos em filmes de alta qualidade, ainda existe um vasto trabalho a ser desenvolvido no que toca à otimização da deposição do material no fabrico de transdutores. É necessário a criação de um processo de produção a baixas temperaturas utilizando materiais alternativos[31]. Comparativamente aos materiais piezoelétricos densos, os porosos possuem coeficiente de deformação e de tensão mais elevados o que o torna uma boa escolha para sensores hidrostáticos[32-34]. Além disso, foram criados polímeros piezoelétricos para produzir materiais piezoelétricos compatíveis, incluindo fluoreto de polivinilideno (PVDF). Enquanto que os polímeros piezoelétricos são leves e flexíveis, o seu acoplamento é significativamente mais fraco do que os de cerâmica. A utilização de um processo “electrospinning” de campo próximo foi sugerido para a preparação do material PVDF por forma a melhorar o coeficiente de acoplamento do material de uma ordem de grandeza. Harstad et al. através do aumento da percentagem da fase  $\beta$  na composição do material conseguiram aumentar o coeficiente de acoplamento. A melhoria foi alcançada

através da inversão de fase utilizada para sintetizar o nanocompósito Gd<sub>5</sub>Si<sub>4</sub>-PVDF[35-39].

Recentemente, processos simples e de baixo custo e métodos de electrospray/electrospinning foram utilizados para criar microestruturas P(VDF-TrFE) com diversas tipologias e morfologias.

Os processos de fundição por solventes e de serigrafia foram utilizados para criar estruturas porosas e filmes densos com diversas temperaturas de evaporação do solvente. Moldes pré-fabricados utilizando tecnologias típicas de processamento de microfluidos foram utilizados para produzir P(VDF-TrFE) com diversos padrões de microestruturas. As microestruturas obtidas através das várias técnicas não afetaram os parâmetros característicos dos materiais de acordo com a caracterização físico-química e elétrica. Como resultado, estas estruturas mostram uma grande promessa numa variedade de aplicações biotecnológicas, incluindo biomédicas, energéticas e como sensores e atuadores. Para além da classificação em PZT e PVDF, os materiais piezoelétricos podem ser divididos em cinco categorias: piezoelétrico monocristal, piezoelétrico sem chumbo, piezoelétricos de alta temperatura, piezoelétricos nanocompósitos, e espumas piezoelétricas [40].

O projeto proposto, pretende utilizar uma tinta solar e materiais piezoelétricos que serão incorporados no fardamento militar por forma a gerar energia elétrica que será armazenada numa pequena bateria.

## 2. RELEVÂNCIA PARA A DEFESA

O presente projeto tem por base responder a diversas questões pertinentes do Exército e que carecem de investigação. A inclusão de painéis solares que podem ser utilizadas como uma tinta no fardamento, assim como a inclusão de matérias piezoelétricos, que permitem converter energia mecânica em elétrica, poderão de certa forma colmatar os problemas que passamos a descrever;

1- Os militares, em missões de longa duração transportam uma grande quantidade de equipamento eletrónico que devem ser alimentados, sem a necessidade do reabastecimento das baterias que transportam;

2- As bases de contingência enfrentam uma procura crescente de energia elétrica, e devem automatizar o controlo e distribuição de energia de e para múltiplas fontes e cargas;

2- Instalações fixas (bases), que dependem de uma rede comercial vulnerável, devem ser capazes de manter a energia contínua a cargas críticas durante interrupções prolongadas da rede;

3- As plataformas tripuladas (aviões, navios, veículos terrestres) precisam de controlar e distribuir a energia de forma eficiente para apoiar quantidades crescentes de energia a bordo;

5- Os sistemas autónomos (por exemplo, drones) necessitam da energia para se manterem operacionais

durante longos períodos, e em alguns casos transportar cargas úteis consideráveis;

6- O armamento de energia dirigida necessita de sistemas de armazenamento de energia com níveis extremamente elevados de potência e capacidade de recarregamento rápido;

Com base nos problemas mencionados, o Exército depara-se com o problema da capacidade energética que cada militar pode transportar em cenários de guerra, tipicamente em áreas remotas e de difíceis acessos. Os militares em cenário de guerra são equipados com dispositivos e equipamentos eletrónicos, com determinados requisitos de potência portátil e com um elevado número de baterias por vezes bastante pesadas. O desafio principal prende-se em responder à quantidade de potência necessária exigida pelos aparelhos eletrónicos transportados pelos militares.

Este desafio é relativamente novo. Por exemplo, em 2001, um pelotão com 42 militares no Afeganistão necessitou de cerca de 2 kilowatt-hora (kWh) de energia para alimentar os dispositivos eletrónicos por um período de 72 horas. Atualmente, os militares transportam uma série de dispositivos que consomem energia, incluindo óculos de visão noturna, faróis de localização de emergência, dispositivos de telemetria laser, rádios em rede e smartphones robustos. O consumo de energia da unidade excede hoje em dia os 30 kWh, e o Exército espera que a necessidade de energia dos militares duplique até 2025, à medida que adquirem equipamentos de realidade aumentada, armamento sofisticado, entre outros novos e sofisticados equipamentos.

Os militares têm tradicionalmente confiado em grande parte em baterias não recarregáveis, porque são leves. No entanto, o preço e o desempenho das baterias recarregáveis têm melhorando nos últimos anos e o Exército tem recentemente substituído as baterias não recarregáveis por estas.

Há uma década atrás, o Exército introduziu uma bateria de peso reduzido que se adapta ao uniforme. Estas baterias, são uma fonte de energia recarregável única para todos os dispositivos e são flexíveis para os militares poderem usar confortavelmente sob o camuflado. Devido à sua composição de lítio possibilitam o fornecimento de energia durante 24 horas, uma duração mais longa do que o normal. A estrutura de múltiplas células assegura que a bateria continuará a funcionar mesmo se uma ou mais células forem danificadas.

Mesmo com tais inovações, as baterias continuam a ser um desafio. A política do Exército apela aos militares de infantaria para transportar energia portátil suficiente para 72 horas de operação contínua, sem necessidade de carregarem as baterias.

A utilização das energias renováveis no Exército tem por base responder às seguintes exigências:

Aumento da duração das Missões sem necessidade de reabastecimento energético: O Exército quer alargar

o tempo de patrulha de 72 a 144 horas. Os militares têm de ser capazes de gerar energia durante a missão. Transporte de cargas mais leves: Os militares transportam atualmente cargas que excedem em muito a carga máxima recomendada: 30% do peso corporal. As baterias correspondem a 15% da carga transportada pelos militares, mas são, no entanto, um problema crescente.

Maior segurança durante a missão: As baterias de iões de lítio podem incendiar-se ou explodir quando penetradas por uma bala ou outro projétil.

### 3. PLANO DE INVESTIGAÇÃO E MÉTODOS

Hoje em dia, durante uma missão, as exigências energéticas que um militar necessita de transportar são cada vez maiores. Exigências, que se prendem com o fato de a tecnologia utilizada pelos militares ser uma tecnologia cada vez mais avançada. Um dos exemplos são os rádios avançados que possuem um alcance cada vez maior. A evolução tecnológica para além de trazer vantagens acaba também por trazer algumas desvantagens e neste caso, a desvantagem maior prende-se com a demanda energética exigida pelos novos equipamentos. Com uma demanda energética cada vez mais exigente, o Exército Português terá de responder a este problema de uma forma eficaz e eficiente. Atualmente, a resposta fornecida pelo Exército pretende-se com a inclusão de um maior número de baterias que são transportadas pelos Militares. Esta solução não é de todo uma solução viável uma vez que as baterias possuem um peso considerável dificultando a movimentação do militar. Para solucionar este problema, existe a necessidade de o Exército Português incluir no fardamento tecnologias leves que permitam a geração de energia elétrica de uma forma contínua ao longo de uma missão. Neste contexto, surgiu a ideia de incluir no fardamento militar especificamente na bota do militar um protótipo que utiliza uma tinta que funciona como uma célula solar e de materiais piezoelétricos no interior das botas entre a palmilha e a sola. Deste modo, não só a energia solar é utilizada para produzir energia elétrica como a energia mecânica utilizada durante a marcha do militar será convertida em energia elétrica.

O projeto será dividido em 4 fases:

**Fase 1 – Levantamento das especificações do Sistema:** tinta solar e materiais piezoelétricos a serem incorporados no fardamento militar

Nesta fase inicial do projeto, será realizado um estudo do estado da arte de outros possíveis sistemas energéticos que estejam acoplados ao fardamento do militar e que estejam a ser utilizados.

Será identificado os requisitos necessários para a implementação do Sistema no fardamento do militar; Poderá haver a possibilidade de serem lançados trabalhos de investigação aplicada (TIA) aos alunos finalistas dos cursos de Engenharia Eletrotécnica Militar, a fim de colaborarem no projeto;

Pretende-se desenvolver as especificações técnicas do sistema integrador, com a finalidade de se formular a arquitetura conceptual do sistema.

### Fase 2 – Desenvolvimento dos componentes do sistema integrador

Com base nos resultados atingidos na fase anterior, pretende-se envolver a comunidade científica por intermédio da realização de teses de mestrado no âmbito dos cursos Engenharia Eletrotécnica Militar (Transmissões);

Pretende-se envolver neste desenvolvimento o departamento de química que irá ajudar a desenvolver a tinta que funcionará como painel solar e o departamento de Engenharia Eletrotécnica Militar; Desenvolvimento de um protótipo do sistema para ser incorporado no fardamento do Militar.

### Fase 3 – Prova de conceito e demonstrador do sistema integrador

Nesta fase pretende-se realizar um conjunto alargado de testes de validação do funcionamento do sistema integrador, tanto em laboratório como em campo;

Pretende-se realizar testes em contexto real, utilizando para o efeito os exercícios da campo dos alunos da Academia Militar;

Realização de uma análise estatística da resposta do Sistema num contexto real.

### Fase 4 – Conclusão

Por fim, pretende-se finalizar este projeto por intermédio da realização de relatórios, artigos e estudos que proporcionem uma compreensão alargada da aplicação do sistema no fardamento dos Militares, bem como todas as suas funcionalidades; No decorrer do projeto, os resultados intermédios obtidos, serão objeto de publicação e divulgação tanto para a comunidade científica, como para a área da Defesa;

Pretende-se como objetivo final registar uma patente do protótipo desenvolvido. Este protótipo permite a utilização das energias renováveis em prol do Exército Português, o que torna este projeto pioneiro na realização de uma primeira prova de conceito da inclusão deste tipo de equipamentos no Exército.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CINAMIL pelo financiamento do projeto GREENFAMIL

### REFERÊNCIAS

[1] S. Yun, Y. Qin, A.R. Uhl, N. Vlachopoulos, M. Yin, D. Li, X. Han, A. Hagfeldt, New-generation integrated devices based on dye-sensitized and perovskite solar cells, *Energy Environ. Sci.*, 11 (2018) 476-526.  
 [2] M.S. Su'ait, M.Y.A. Rahman, A. Ahmad, Review on polymer electrolyte in dye-sensitized solar cells (DSSCs), *Sol. Energy*, 115 (2015) 452-470.  
 [3] C.-P. Lee, C.-T. Li, K.-C. Ho, Use of organic materials in dye-sensitized solar cells, *Mater. Today*, 20 (2017) 267-283.  
 [4] N. Zhou, A. Facchetti, Naphthalenediimide (NDI) polymers for all-polymer photovoltaics, *Mater. Today*, 21 (2018) 377-390.  
 [5] Q. Zhang, H. Ting, S. Wei, D. Huang, C. Wu, W. Sun, B. Qu, S. Wang, Z. Chen, L. Xiao, Recent progress in lead-free perovskite (-like) solar cells, *Mater. Today Energy*, 8 (2018) 157-165.  
 [6] O'Regan, B.; Gratzel, M.; *Nature* 1991, 353, 737.

[7] Lee, Y. L.; Lo, Y. S. Highly Efficient Quantum-Dot-Sensitized Solar Cell Based on Co-sensitization of CdS/CdSe. *Adv. Funct. Mater.* 2009, 19, 604–609.  
 [8] Pan, Z.; Zhao, K.; Wang, J.; Zhang, H.; Feng, Y.; Zhong, X. Near Infrared Absorption of CdSexTe1–X Alloyed Quantum Dot Sensitized Solar Cells with More Than 6% Efficiency and High Stability. *ACS Nano* 2013, 7, 5215–5222.  
 [9] Kim, J. Y.; Yang, J.; Yu, J. H.; Baek, W.; Lee, C. H.; Son, H. J.; Hyeon, T.; Ko, M. J. Highly Efficient Copper–Indium–Selenide Quantum Dot Solar Cells: Suppression of Carrier Recombination by Controlled ZnS Overlayers. *ACS Nano* 2015, 9, 11286–11295.  
 [10] Sahasrabudhe, A.; Bhattacharyya, S. Dual Sensitization Strategy for High-Performance Core/Shell/Quasi-Shell Quantum Dot Solar Cells. *Chem. Mater.* 2015, 27, 4848–4859.  
 [11] Ren, Z. W.; Wang, J.; Pan, Z. X.; Zhao, K.; Zhang, H.; Li, Y.; Zhao, Y. X.; Mora-Seró, I.; Bisquert, J.; Zhong, X. H. Amorphous TiO<sub>2</sub> Buffer Layer Boosts Efficiency of Quantum Dot Sensitized Solar Cells to over 9%. *Chem. Mater.* 2015, 27, 8398–8405.  
 [12] Yang, J. W.; Wang, J.; Zhao, K.; Izuishi, T.; Li, Y.; Shen, Q.; Zhong, X. H. CdSe/Te/CdS Type-I Core/Shell Quantum Dot Sensitized Solar Cells with Efficiency over 9%. *J. Phys. Chem. C* 2015, 119, 28800–28808.  
 [13] Zhao, K.; Pan, Z.; Mora-Seró, I.; Canovas, E.; Wang, H.; Song, Y.; Gong, X.; Wang, J.; Bonn, M.; Bisquert, J.; et al. Boosting Power Conversion Efficiencies of Quantum-Dot-Sensitized Solar Cells Beyond 8% by Recombination Control. *J. Am. Chem. Soc.* 2015, 137, 5602–5609.  
 [14] Du, J.; Du, Z.; Hu, J. S.; Pan, Z.; Shen, Q.; Sun, J.; Long, D.; Dong, H.; Sun, L.; Zhong, X.; et al. Zn–Cu–In–Se Quantum Dot Solar Cells with a Certified Power Conversion Efficiency of 11.6%. *J. Am. Chem. Soc.* 2016, 138, 4201–4209.  
 [15] Ren, Z. W.; Wang, Z. Q.; Wang, R.; Pan, Z. X.; Gong, X. Q.; Zhong, X. H. Effects of Metal Oxyhydroxide Coatings on Photoanode in Quantum Dot Sensitized Solar Cells. *Chem. Mater.* 2016, 28, 2323–2330.  
 [16] Zhao, K.; Pan, Z.; Zhong, X. Charge Recombination Control for High Efficiency Quantum Dot Sensitized Solar Cells. *J. Phys. Chem. Lett.* 2016, 7, 406–417.  
 [17] Genovese, M. P.; Lightcap, I. V.; Kamat, P. V. Sun-Believable Solar Paint. A Transformative One-Step Approach for Designing Nanocrystalline Solar Cells. *ACS Nano* 2012, 6, 865–872.  
 [18] Zhang, X.; Sun, H. X.; Tao, X. Y.; Zhou, X. F. TiO<sub>2</sub>@CdSe/CdS Core-Shell Hollow Nanospheres Solar Paint. *RSC Adv.* 2014, 4, 31313–31317.  
 [19] Gates, B. A Big Win for Cheap, Clean Energy; <https://www.gatesnotes.com/Energy/Investing-in-Energy-Innovation>.  
 [20] Gebel, E. Solar Cells From a Paintbrush, *Chemical & Engineering News*. <http://cen.acs.org/articles/89/web/2011/12/Solar-Cells-Paintbrush.html>.  
 [21] Nogas-Cwikiel, E. Fabrication of Mn Doped PZT for Ceramic-Polymer Composites. *Arch. Metall. Mater.* 2011, 56, 2–6.  
 [22] Aabid, A.; Parveez, B.; Raheman, A.; Ibrahim, Y.E.; Anjum, A.; Hrairi, M.; Parveen, N.; Zayan, J.M. A review of piezoelectric materials based structural control and health monitoring techniques for engineering structures: Challenges and opportunities. *Actuators* 2021, 10, 26.  
 [23] Panda, P.K. Review: Environmental friendly lead-free piezoelectric materials. *J. Mater. Sci.* 2009, 44, 5049–5062.  
 [24] Priya, S.; Nahm, S. *Lead-Free Piezoelectrics*, 1st ed.; Springer: New York, NY, USA, 2013.  
 [25] Uchino, K. The Development of Piezoelectric Materials and The New Perspective. In *Advanced Piezoelectric Materials: Science and Technology*, 2nd ed.; Uchino, K., Ed.; Woodhead Publishing: Sawston, UK, 2010; pp. 1–85.  
 [26] Marino, A.; Genchi, G.G.; Mattoli, V.; Ciofani, G. Piezoelectric nanotransducers: The future of neural stimulation. *Nano Today* 2017, 14, 9–12.  
 [27] Gao, X.; Wu, J.; Yu, Y.; Chu, Z.; Shi, H.; Dong, S. Giant Piezoelectric Coefficients in Relaxor Piezoelectric Ceramic PNN-PZT for Vibration Energy Harvesting. *Adv. Funct. Mater.* 2018, 28, 1706895.

- [28] Danjanovic, D. Ferroelectric, dielectric and piezoelectric properties of ferroelectric thin films and ceramics. *Rep. Prog. Phys.* 1998, 61, 1267–1324
- [29] Messing, G.L.; Trolrier-McKinstry, S.; Sabolsky, E.M.; Duran, C.; Kwon, S.; Brahmaroutu, B.; Park, P.; Yilmaz, H.; Rehrig, P.W.; Eitel, K.B.; et al. Templated Grain Growth of Textured Piezoelectric Ceramics. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* 2004, 29, 45–96.
- [30] Isarakorn, D. Epitaxial piezoelectric MEMS on silicon. *J. Micromech. Microeng.* 2010, 20, 55008.
- [31] Murali, P.; Polcawich, R.G.; Trolrier-McKinstry, S. Piezoelectric Thin Films for Sensors, Actuators, and Energy Harvesting. *MRS Bull.* 2009, 34, 658–664.
- [32] Roscow, J.I.; Taylor, J.; Bowen, C.R. Manufacture and characterization of porous ferroelectrics for piezoelectric energy harvesting applications. *Ferroelectrics* 2016, 498, 40–46.
- [33] Roscow, J.I.; Lewis, R.W.C.; Taylor, J.; Bowen, C.R. Modelling and fabrication of porous sandwich layer barium titanate with improved piezoelectric energy harvesting figures of merit. *Acta Mater.* 2017, 128, 207–217.
- [34] Martínez-Ayuso, G.; Friswell, M.I.; Adhikari, S.; Khodaparast, H.H.; Berger, H. Homogenization of porous piezoelectric materials. *Int. J. Solids Struct.* 2017, 113–114, 218–229.
- [35] Pan, C.T.; Yen, C.K.; Wu, H.C.; Lin, L.; Lu, Y.S.; Huang, J.C.C.; Kuo, S.W. Significant piezoelectric and energy harvesting enhancement of poly(vinylidene fluoride)/polypeptide fiber composites prepared through near-field electrospinning. *J. Mater. Chem. A* 2015, 3, 6835–6843.
- [36] Harstad, S.; D'Souza, N.; Soin, N.; El-Gendy, A.A.; Gupta, S.; Pecharsky, V.K.; Shah, T.; Siores, E.; Hadimani, R.L. Enhancement of  $\beta$ -phase in PVDF films embedded with ferromagnetic Gd<sub>5</sub>Si<sub>4</sub> nanoparticles for piezoelectric energy harvesting. *AIP Adv.* 2017, 7, 56411.
- [37] Gonçalves, R.; Cardoso, V.F.; Pereira, N.; Oliveira, J.; Pereira, J.N.; Costa, C.M.; Méndez, S.L. Evaluation of the Physicochemical Properties and Active Response of Piezoelectric Poly(vinylidene fluoride-co-trifluoroethylene) as a Function of Its Microstructure. *J. Phys. Chem. C* 2018, 122, 11

# Comportamento mecânico de betões sustentáveis produzidos com água salgada e agregados reciclados

L. Kravchanka (1), J. de Brito (2), M. Bravo (3) e P. Matias (4)

(1) Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. kravchanka.l@exercito.pt

(2) Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos; Ceris. Instituto Superior Técnico. jorge.brito@tecnico.ulisboa.pt

(3) Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos; Ceris. Instituto Superior Técnico. miguelnbravo@tecnico.ulisboa.pt

(4) Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas; Centro de Investigação Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar. Academia Militar. matias.pjsg@exercito.pt

**Resumo:** Esta dissertação visa analisar a viabilidade da utilização de água do mar em betões, tanto na composição como na cura, em detrimento de água potável. Pretende-se também avaliar o comportamento mecânico de betões produzidos com diferentes percentagens de substituição de agregados naturais (AN) grossos por agregados reciclados (AR) grossos (0%, 50% e 100%). Na maioria dos ensaios, a utilização simultânea de AR e água do mar, tanto na composição como na cura, provoca perdas significativas no desempenho. Porém, ao incorporar AR e água do mar no betão, observou-se uma tendência de melhoria na resistência à abrasão, quando comparado com o betão de referência.

**Palavras-chave:** betão, sustentável, água do mar, agregados reciclados.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Conselho Nacional da Água, a Terra é constituída por 70% de água, sendo que apenas 7% dessa água é potável. A água potável é um dos recursos mais preciosos da Terra e, tendo em vista o seu elevado consumo, é um grande desafio aprender a poupá-la devido à sua escassez em muitas partes do mundo. Assim sendo, é fundamental encontrar fontes alternativas, de modo a economizar este recurso. A substituição da água potável por água do mar na composição do betão poderá ser uma solução benéfica para futuras construções, não só reduzindo os custos de construção, mas também a emissão de CO<sub>2</sub>.

A acumulação de resíduos da construção e demolição (RCD) nos aterros também causa grandes preocupações ambientais. Assim, o uso de agregados reciclados (AR) grossos, como alternativa aos agregados naturais (AN) grossos, permite mitigar o consumo de energia e a poluição ambiental.

O betão é o material de construção mais utilizado em todo o mundo, sendo acompanhado de enormes emissões de carbono e impactes negativos no meio ambiente. Neste contexto, para reduzir o consumo de energia e economizar recursos naturais, obtendo um betão mais “verde”, o uso de água do mar e de AR grossos torna-se uma opção promissora, permitindo também um alívio na crise de recursos e no custo da construção, principalmente nas zonas costeiras e insulares.

O presente estudo visa analisar a viabilidade da substituição de água potável por água do mar e de agregados naturais por agregados reciclados em betões.

## 2. ÁGUA DO MAR

O valor do pH da água do mar varia entre 7,4 e 8,4, sendo que a corrosão dos varões de aço ocorre para pH abaixo de 11 (Gani, 1997). A água do mar contém principalmente iões de cloreto, sódio, magnésio, cálcio e potássio, em que o principal sal é o cloreto de sódio (aproximadamente 88%) (Wegian, 2010).

As características da água do mar dependem do local de recolha (Gua *et al.*, 2020). Em comparação com a água potável, a água do mar contém teores do sal muito elevados, representados pelos altos teores de iões de cloreto (Cl<sup>-</sup>), iões de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) e catiões de sódio (K<sup>+</sup>) (Newman, 1968; Kucche *et al.*, 2015 e Etxeberria *et al.*, 2016).

É proibido o uso de água do mar em estruturas de betão armado, ao contrário do que se verifica em betão não estrutural (Katano *et al.*, 2013). A água do mar pode ser incorporada em vários elementos de betão não armado, incluindo blocos de betão, pavimentos ou betões leves, onde o reforço não é necessário. Nos últimos anos, foram desenvolvidos reforços não sujeitos a corrosão, como, por exemplo, fibras de carbono, aço inoxidável e armaduras revestidas com resina epóxida. Uma opção de uso mais acessível dentro dos Polímetros Reforçados com Fibra é a Fibra de Vidro (Xiao *et al.*, 2017). Esta fornece uma solução atrativa que pode substituir o uso do aço como material de reforço e resolver os problemas de durabilidade em estruturas de betão armado que contenham água do mar.

Os benefícios do uso de água do mar são: a diminuição da porosidade da pasta de cimento após 28 dias; a melhoria precoce na microestrutura do betão; a redução do custo de transporte e de

construção, a redução de CO<sub>2</sub> e o alívio do consumo de recursos naturais (água potável). Por sua vez, os malefícios do uso da água do mar são: a matriz de cimento quando sofre deterioração devido à presença de alto teor de cloretos presentes em água do mar, aumenta os vazios e diminui a resistência do betão; diminuição na trabalhabilidade, tempo de presa e densidade; deterioração causada por tensões internas devido ao processo de cristalização dos sais nos poros e diminuição da resistência à compressão em idade tardia.

### 3. RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

De acordo com a Eurostat, a população mundial e a consequente necessidade de infraestruturas se encontram em expansão, o que leva a um aumento significativo dos RCD. A elevada quantidade de RCD descartados todos os anos e o baixo nível de reciclagem são duas grandes preocupações económicas e ambientais da atualidade, sendo imperativo evitar a abertura de novos aterros (Etxeberria *et al.*, 2016).

Os RCD são gerados sempre que um edifício, uma estrada, uma ponte, uma estrutura industrial ou uma instalação fabril são construídos, reparados, reabilitados ou demolidos. Estes são materiais altamente heterogêneos, compostos por uma ampla gama de materiais, como betão, asfalto, madeira, gesso cartonado, cimento, vidro, plástico, metal, materiais isolantes, carpetes, materiais de cobertura e outros materiais similares produzidos. A composição destes materiais depende fortemente da sua localidade de origem (Medina *et al.*, 2014 e Kumar, 2017).

Os RCD têm sido utilizados em diferentes aplicações, como fundações, pavimentos, estabilizantes do solo e substitutos parciais / totais dos AN grossos na produção de betão (Oikonomou, 2005). As possíveis utilizações de AR como material em bases rodoviárias e sub-bases e referem que essas utilizações têm consequências positivas, tanto ambientais (redução da extração dos recursos naturais, menores emissões de CO<sub>2</sub> e menor armazenamento em aterros) como económicas (menores custos de transporte e energia). Assim, o uso de RCD tem um impacto ambiental muito menor do que a utilização de AN (Jiménez *et al.*, 2012; Tabsh e Abdelfatah, 2009).

Os AR têm maior absorção de água do que os AN. Esta característica tem aumentado a aceitação destes materiais na construção de estradas e em alguns parques de estacionamento onde as águas superficiais permanecem por muito tempo (Abera, 2022).

A utilização destes materiais não só ajuda a criar um ambiente livre de resíduos, como também traz benefícios económicos. Algumas utilizações propostas para os RCD são: bancos de assento dos parques, paredes internas pré-fabricadas, floreiras, postes elétricos e outros que não necessitam de alta resistência do betão.

As propriedades mais prejudiciais dos AR de RCD, quando comparados aos AN, são a densidade, a absorção de água e o teor das partículas

contaminantes, em particular o gesso, que pode levar a possíveis pressões de expansão devido ao ataque interno dos sulfatos (Agreia *et al.*, 2011; Martín-Morales *et al.*, 2011 e Medina *et al.*, 2014).

## 4. PROGRAMA EXPERIMENTAL

### 4.1. Materiais

Nesta dissertação, foi utilizada água do mar proveniente de Ericeira e AR oriundos da central de reciclagem Vimajas. Foi realizada uma análise composicional dos AR, através de uma análise visual (Fig. 1).



Fig. 1. Composição dos RCD oriundos da central de reciclagem de Vimajas

Estes agregados foram peneirados de acordo com a seguintes granulometrias: 4-5,6 mm; 5,6-8 mm; 8-11,2 mm; 11,2-16 mm e, por fim, 16-22,4 mm. Os AN utilizados foram areia fina (0-2 mm), areia grossa (0-4 mm), brita 1 (9,5 e 19 mm) e brita 2 (19-22 mm). O ligante utilizado nos betões produzidos foi o CEM I 42,5 R. Para obter a trabalhabilidade desejada em todos os betões produzidos, foi utilizado um superplastificante SikaPlast-717.

### 4.2. Composições

A classe de consistência (trabalhabilidade) utilizada na produção de todos os betões foi a S3 (100-150 mm), de modo a permitir uma correta comparação entre eles. Foi necessário ajustar a relação A/C dos betões produzidos, de modo a obter uma trabalhabilidade semelhante. Foram produzidas 12 composições de betão (Tabela I).

Tabela I. Constituição dos betões produzidos

Tipo de betão	Agregados reciclados grossos (%)	Água do mar na composição	Água do mar na cura	
P-CP-0	0	-	-	Betões sem água do mar
P-CP-50	50	-	-	
P-CP-100	100	-	-	
S-CP-0	0	✓	-	Betões com água do mar na composição
S-CP-50	50	✓	-	
S-CP-100	100	✓	-	
P-CS-0	0	-	✓	Betões com água do mar na cura
P-CS-50	50	-	✓	
P-CS-100	100	-	✓	
S-CS-0	0	✓	✓	Betões com água do mar na composição e na cura
S-CS-50	50	✓	✓	
S-CS-100	100	✓	✓	

### 4.3. Ensaaios

Os ensaios realizados aos agregados foram: análise granulométrica - NP EN 933-1 (2000) e NP EN 933-2 (1999); baridade - NP EN 1097-3 (2003); massa volúmica e absorção de água - NP EN 1097-6 (2003) e desgaste de Los Angeles - LNEC E 237 (1970). Os ensaios realizados no estado fresco do betão foram: abaixamento do cone de Abrams - NP EN 12350-2 (2002) e massa volúmica no estado fresco NP EN 12350-6 (2002). Por fim, os ensaios realizados no estado endurecido do betão foram: resistência à compressão - NP EN 12390-3 (2003); resistência à tração (por compressão diametral) - NP EN 12390-6 (2003); módulo de elasticidade - LNEC E 397 (1993) e resistência à abrasão - DIN 52108 (2010).

## ANÁLISE DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

### 5.1. Ensaaios ao betão no estado fresco

A caracterização dos betões no estado fresco foi realizada recorrendo a dois ensaios: abaixamento do cone de Abrams e massa volúmica. Os resultados obtidos podem ser consultados na Tabela II.

Tabela. II. Resultados dos ensaios ao betão no estado fresco

Tipo de betão	Abaixamento do cone de Abrams (mm)	Massa volúmica (kg/m <sup>3</sup> )	Relação A/C total
P-0	150	2334,9	0,55
P-50	119	2282,1	0,59
P-100	110	2184,7	0,63
S-0	115	2285,5	0,58
S-50	120	2267,6	0,62
S-100	105	2173,2	0,66

### 5.2. Ensaaios ao betão no estado endurecido

A caracterização mecânica dos betões no estado endurecido realizou-se segundo os seguintes ensaios: resistência à compressão em cubos, resistência à tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, velocidade de propagação de ultrassons e resistência à abrasão. De modo a facilitar a análise dos resultados obtidos, os mesmos estão reproduzidos na Tabela III e IV.

Tabela. III. Resultados dos ensaios ao betão no estado endurecido

Tipo de betão	Resistência à compressão (MPa)			Resistência à tração (MPa)
	7 dias	28 dias	91 dias	28 dias
P-CP-0	37,3	44,3	51,0	3,7
P-CP-50	-19%	-9%	-9%	-29%
P-CP-100	-34%	-33%	-19%	-40%
P-CS-0	-1%	-3%	0%	-7%
P-CS-50	-21%	-11%	-11%	-34%
P-CS-100	-37%	-34%	-26%	-52%
S-CP-0	-4%	-4%	-3%	-22%
S-CP-50	-17%	-10%	-17%	-30%
S-CP-100	-31%	-26%	-24%	-46%
S-CS-0	-9%	-6%	-6%	-27%
S-CS-50	-16%	-12%	-14%	-38%
S-CS-100	-40%	-34%	-25%	-41%

Tabela. IV. Resultados dos ensaios ao betão no estado endurecido

Tipo de betão	Módulo de elasticidade (GPa)	Ultrassons (m/s)		Resistência à abrasão - perda de massa (%)
		28 dias	91 dias	91 dias
P-CP-0	40,7	4935,8	5014,5	4,6
P-CP-50	-23%	-3%	-3%	9%
P-CP-100	-36%	-10%	-13%	22%
P-CS-0	-1%	-1%	-1%	-15%
P-CS-50	-21%	-1%	-3%	9%
P-CS-100	-39%	-8%	-12%	17%
S-CP-0	-4%	-1%	1%	7%
S-CP-50	-24%	-2%	-4%	8%
S-CP-100	-40%	-7%	-14%	17%
S-CS-0	-5%	-1%	0%	6%
S-CS-50	-24%	-2%	-3%	5%
S-CS-100	-42%	-10%	-14%	11%

## CONCLUSÕES

Os resultados experimentais permitiram retirar as seguintes conclusões:

- Ao contrário dos AN, os AR apresentam menor baridade e massa volúmica. Este facto deve-se à natureza porosa de alguns AR, tais como o tijolo, o azulejo, entre outros materiais argilosos presentes nos AR. Em relação à absorção de água por parte dos AR, esta é mais elevada em comparação aos AN, também devido à maior porosidade dos AR. Por último, a resistência à fragmentação dos AR é menor, em comparação à dos AN, devido ao facto de a argamassa aderida a estes ter uma menor resistência ao desgaste;

- Para se obter uma trabalhabilidade constante, foi necessário ajustar a relação A/C à medida que a percentagem de AR aumentava. No entanto, manteve-se sempre a relação A/C efetiva. Pelo contrário, foi necessário aumentar a relação A/C efetiva com a substituição de água potável por água do mar, isto é atribuído à presença de grandes quantidade de cloreto de sódio contidos na água do mar que aceleram a hidratação do cimento. Relativamente ao ensaio de massa volúmica no estado fresco, massa volúmica dos betões com AR é menor do que a dos betões com AN, devido ao facto de os AR terem uma menor massa volúmica do que os AN grossos. Também é verificado que a utilização de água do mar na produção de betão não tem um efeito significativo na massa volúmica fresca. A maior relação de A/C efetiva dos betões com água do mar faz diminuir a proporção de agregados introduzidos nas misturas, o que reduz ligeiramente a massa volúmica das misturas;

- Para qualquer idade, à medida que a taxa de substituição de AN por AR aumenta, a resistência à compressão diminui. Este resultado é uma consequência de um maior desgaste do ensaio de Los Angeles dos AR face aos AN. Aos 7 dias de idade, os betões com cura em água potável e água do mar na composição apresentam uma resistência à

compressão menor do que era esperado segundo a literatura. A resistência tende a aumentar com a idade e a diminuir com o aumento da taxa de substituição de agregados. Nos betões com água potável na composição, a cura com água do mar diminui a resistência à compressão em todas as idades e para qualquer taxa de substituição de agregados. Porém, em betões com taxa de substituição de 50% de AN por AR, verifica-se que a cura com água do mar aumenta a resistência à compressão aos 7 e 91 dias. A cura do betão com água do mar em betões com 0 e 50% de AR e água potável na composição faz aumentar a resistência à compressão. A diminuição da resistência à compressão nos betões com água do mar deve-se à formação de gesso, uma vez que esta causa pressões expansivas.

- A resistência à tração tende a diminuir com o aumento da taxa de substituição de AN por AR. Isto deve-se ao elevado teor de AR cerâmicos presentes nos RCD. Esta diminuição ainda é mais acentuada com o uso de água do mar na composição. Nos betões com água do mar na composição e 100% de AR, a cura em água do mar melhorou a resistência à tração, em comparação com a cura com água potável.

- À medida que a percentagem de AR aumenta, o módulo de elasticidade diminui. Isto deve-se ao facto de os AR apresentarem uma massa volúmica menor do que os AN. O módulo de elasticidade varia muito pouco com o tipo de cura, mas diminui com a utilização de água do mar na composição do betão. Esta diminuição deve-se a fissuras internas do betão originadas por iões de cloreto presentes na água do mar. A maior diminuição do módulo de elasticidade ocorre nos betões com 100% de AR e com água do mar na composição e na cura.

- A velocidade de propagação dos ultrassons aumenta com a idade e diminui com o aumento da taxa de substituição de AN por AR. O betão com 100% de AR e água do mar na composição, apresenta a maior redução na velocidade de propagação dos ultrassons a 91 dias.

- A resistência à abrasão aumenta com a taxa de substituição de AN por AR em todos os betões, isto pode ser justificado pela elevada aderência entre a pasta de cimento e os AR. Ao incorporar AR e água do mar no betão, também se observou uma tendência de melhoria na resistência à abrasão.

Concluindo assim que a água do mar pode ser usada em betão simples e betão armado permanentemente submerso.

## REFERÊNCIAS

Abera, S. A. (2022). Analytical study on properties of concrete materials incorporating recycled aggregates from construction and demolition waste. *Materials Today: Proceedings*, 52, 2172-2183.

Agrela, F., De Juan, M. S., Ayuso, J., Geraldés, V. L., & Jiménez, J. R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3950-3955.

Conselho Nacional da Água. <https://conselhonacionaldaagua.weebly.com>, acessado a 11 de agosto.

Etxeberria, M., Gonzalez-Corominas, A., & Pardo, P. (2016). Influence of seawater and blast furnace cement employment on recycled aggregate concretes' properties. *Construction and Building Materials*, 115, 496-505.

Gani, M.S.J. (1997). *Cement and concrete. 1st ed. England: Chapman and Hills*, 49-169.

Guo, M., Hu, B., Xing, F., Zhou, X., Sun, M., Sui, L., & Zhou, Y. (2020). Characterization of the mechanical properties of eco-friendly concrete made with untreated sea sand and seawater based on statistical analysis. *Construction and Building Materials*, 234, 117339.

Jiménez, J. R., Ayuso, J., Galvín, A. P., López, M., & Agrela, F. (2012). Use of mixed recycled aggregates with a low embodied energy from non-selected CDW in unpaved rural roads. *Construction and Building Materials*, 34, 34-43.

Katano, K., Takeda, N., Ishizeki, Y., & Iriya, K. (2013). Properties and application of concrete made with sea water and un-washed sea sand. In *Proceedings of Third International conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*.

Kucche, K. J., Jamkar, S. S., & Sadgir, P. A. (2015). Quality of water for making concrete: a review of literature. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 5(1), 1-10.

Kumar, R. (2017). Influence of recycled coarse aggregate derived from construction and demolition waste (CDW) on abrasion resistance of pavement concrete. *Construction and Building Materials*, 142, 248-255.

Martín-Morales, M., Zamorano, M., Ruiz-Moyano, A., & Valverde-Espinosa, I. (2011). Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08. *Construction and building materials*, 25(2), 742-748.

Medina, C., Zhu, W., Howind, T., de Rojas, M. I. S., & Frías, M. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete. *Journal of cleaner production*, 68, 216-225.

Newman, K. (1968). Aspects of workability, strength, shrinkage and creep, sea dredged aggregates for concrete. In *Proceedings of a Symposium, Sand and Gravel Association of Great Britain, Buckinghamshire*.

Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement and concrete composites*, 27(2), 315-318.

Tabsh, S. W., & Abdelfatah, A. S. (2009). Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete. *Construction and building materials*, 23(2), 1163-1167.

Wegian, F. M. (2010). Effect of seawater for mixing and curing on structural concrete. *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 3(4), 235-243.

Xiao, J., Qiang, C., Nanni, A., & Zhang, K. (2017). Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. *Construction and Building Materials*, 155, 1101-1111.

## Conceção, análise e ensaio de uma solução de absorção de energia para fachadas envidraçadas com fixações lineares

**Autores: J. Machado (1), P. Matias (2), J. Oliveira Pedro (3)**

- (1) Centro de Competências para Proteção de Infraestruturas. Academia Militar. machado.jac@exercito.pt
- (2) Centro de Competências para a Proteção de Infraestruturas; CINAMIL. Academia Militar. matias.pjsg@exercito.pt
- (3) Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos; Ceris. Instituto Superior Técnico. jose.oliveira.pedro@tecnico.ulisboa.pt

**Resumo:** O trabalho desenvolvido está incluído no projeto ProFESEx (Sistema de Proteção de Fachadas Envidraçadas Sujeitas a Explosões) em que o principal objetivo é desenvolver uma possível solução de fachada envidraçada utilizando metamateriais impressos em 3D com geometria auxética, e vidro laminado composto por duas lâminas de vidro temperado capazes de resistir a cargas explosivas. A utilização de um sistema de dissipação de energia proporcionará uma redução dos danos do vidro e melhorará o seu comportamento e resistência contra explosões. Quando uma carga de explosiva é aplicada num vidro laminado, dependendo do tipo de vidro utilizado nas diferentes lâminas, os danos causados ao ser humano podem ser drasticamente reduzidos em comparação com um vidro monolítico que é responsável pela maioria das vítimas, devido à projeção dos fragmentos de vidro. Procurou-se combinar os resultados dos modelos de EF, para calibrar os modelos, e compreender o comportamento de um vidro laminado com e sem o sistema de dissipação de energia.

**Palavras-chave:** Ação da explosão; Vidro Laminado; Metamateriais; Dissipador de Energia; Auxético; LS-Dyna.

### 1. INTRODUÇÃO

Sendo o terrorismo um fator a combater, como engenheiros de estruturas o objetivo proposto prende-se com o dimensionamento de uma solução realista capaz de ser aplicada em diversos edifícios. A solução de fachada envidraçada surge na arquitetura com o objetivo de criar espaços amplos de luz natural, que são fundamentais para o estado psicológico trabalhador dentro do escritório, melhorando assim o seu rendimento. Além disso, a entrada da luz natural é outro facto extremamente importante, não só para o ser humano, mas também economicamente para o edifício.[1]

Um dos métodos mais eficazes para causar baixas e danos estruturais é a utilização de explosões, sendo que para criar uma explosão de grande escala, não é necessário conhecimento técnico nem tático do terrorista para que se realize a ação, além da sua construção ou fabricação ser barata e fácil de fazer. [2]

Com recurso a metamateriais com determinada geometria combinada com a utilização de painéis de vidro laminado temperado, espera-se que se encontre uma solução viável e capaz de resistir a uma explosão sem a projeção de projéteis na retaguarda do painel, e em comparação com um painel de vidro laminado sem a utilização de dissipadores de energia, perceber se a solução é capaz de aumentar a capacidade de

carga do painel. A Fig. 1. ilustra o painel dimensionado.

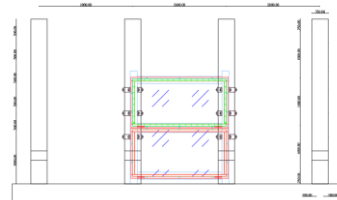


Fig. 1. Set-Up de Ensaio Dimensionado

### 2. EXPLOSÃO E AÇÃO DE UMA EXPLOSÃO

Uma explosão acontece quando uma reação química, física ou nuclear acontece rapidamente, libertando uma grande quantidade de energia num reduzido intervalo de tempo. Quanto mais rápida for a reação, mais violenta é a explosão. [3]

As explosões podem ser confinadas ou ao ar livre e dependendo da sua localização ou origem, estas têm comportamentos diferentes.[4]

A variação de pressões de uma explosão ao longo do tempo pode ser explicada pela Fig. 2 onde se pode observar o tempo de chegada da onde a pressão atinge o maior valor, e depois e tem um decaimento ao longo do tempo, passando por uma fase negativa antes de voltar a estabilizar à pressão atmosférica. A fase positiva tem uma duração menor que a fase negativa, embora o seu impulso seja maior.[5]

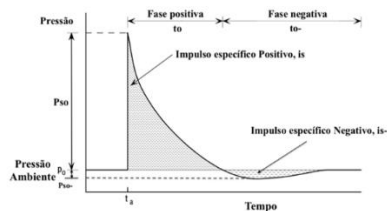


Fig. 2. Perfil pressão-tempo típico de uma explosão, adaptado de [4]

A curva de decréscimo da pressão da onda de choque, ao longo do tempo, pode ser representada através da expressão modificada de Friedlander (2.1):

$$P_s(t) = P_{so} \left( 1 - \frac{t}{t_0^+} \right) e^{-bt/t_0^+} \quad (2.1)$$

onde,  $P_{so}$  [kPa] corresponde à pressão incidente de pico,  $t_0^+$  [ms] à duração da fase positiva,  $t$  [ms] ao período de tempo entre o instante de chegada ( $t_a$ ) e aquele em que esta a ser realizada a análise e  $b$  ao coeficiente de decaimento da curva. [3]

### 3. CARACTERIZAÇÃO DO VIDRO

O vidro é um produto resultante da fusão da sílica como material principal com diversos outros componentes encontrados na natureza. O vidro é isotrópico e por isso não depende da direção ou orientação dos materiais. [6]

O comportamento do vidro é frágil e por isso, quando parte, não há um aviso prévio onde se possa notar que vai partir. [7]

Os vidros mais utilizados na construção são o vidro recozido, o vidro termo-endurecido e o vidro temperado. [8]

A junção de dois vidros através de uma película intermédia é chamado de vidro laminado. A película mantém os fragmentos colados após a rotura do vidro, sendo que, por este fenómeno é apelidado também de vidro de segurança. [9]

A película intermédia utilizada foi o polivinil butiral (PVB) quem tem uma variação de resistência alta com a variação de temperatura, o que foi tido em consideração na modelação numérica. [10]

A impressão dos dissipadores de energia foi feita recorrendo à tecnologia de impressão 3D, com o material PETG, que é um material já estudado e que, segundo uso de certas geometrias nomeadamente a auxética, produz uma boa resposta ao carregamento dinâmico. [11]

### 4. DIMENSIONAMENTO DO SET-UP DE ENSAIO

#### 4.1. Ações Dinâmicas e Estáticas

Para o dimensionamento da estrutura, foram consideradas cargas dinâmicas tendo em conta que a carga atuante é um impulso e por isso, tendo em conta as capacidades de resistência do aço segundo Biggs [12] é aumentada. Foi dimensionada a estrutura com

perfis metálicos SHS 200x200x8, as chapas de fixação do vidro, as chapas de fixação da estrutura à parede de betão existente e dos varões roscados necessários. As condições de segurança foram todas verificadas. O *Set-Up* da campanha de testes está na Fig. 3.



Fig. 3. Set-Up de ensaio utilizado nos testes experimentais

Após este dimensionamento, foi necessário dimensionar o vidro.

#### 4.2. Dimensionamento do Vidro

Foi considerado que o painel de vidro estudado está colocado num edifício de 50m de altura no litoral. A resistência do painel de vidro laminado foi calculado para resistir às ações do vento de acordo com a pré-norma europeia de vidro em edifícios [13] e de acordo com o Eurocódigo 1-4 (Fig. 4.). [14]

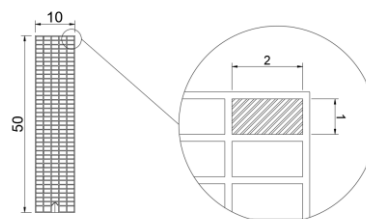


Fig. 4. Painel de vidro considerado para cálculo

Após isso, foi necessário dimensionar o vidro também para as explosões para se ter uma noção de como iria reagir e comparando com os resultados experimentais da literatura reparou-se que os resultados dados pela pré-norma não correspondiam à realidade.

### 5. ESTUDO NUMÉRICO

#### 5.1. Modelo em elementos finitos

O custo geral numa campanha experimental é muito elevado. Além disso, a falta de controlo das condições ambientais assim como o controlo da quantidade e qualidade do explosivo, pode levar a uma má obtenção de resultados. Por estas razões, é vantajoso recorrer a modelos numéricos. A simulação é um produto de três fases: primeiro a definição da geometria, da malha, dos materiais e das condições iniciais e de fronteira; em segundo lugar os cálculos e, finalmente, o processamento dos resultados.

O primeiro modelo numérico a validar foi o do dissipador de energia, tendo em conta que seria depois necessário aplicar na junção dos modelos todos. Para tal validação, foi feita uma replicação de um modelo já existente com sucesso e foi feito um segundo modelo que simula o comportamento de uma carga estática realizada em laboratório. Por fim, um modelo final foi feito com o objetivo de retirar a equação dinâmica do dissipador de energia, onde se carregou o mesmo modelo 24 vezes com cargas diferentes (Fig. 5.).

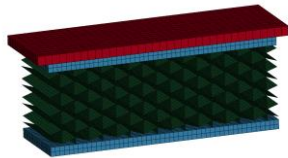


Fig. 5. Geometria do modelo do dissipador

Após a realização deste modelo, realizou-se a validação de um segundo modelo, constituído por vidro laminado, onde se comparou os resultados experimentais da literatura com o modelo de elementos finitos realizado. O modelo de elementos finitos do vidro apresentou erros que variam entre 4,46% e 16,26% com anomalias pontuais que apresentam erros até 37,21%, comparados com a realidade. [15][16]

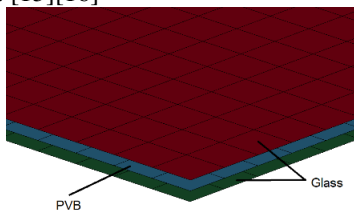


Fig. 6. Geometria do modelo do vidro

Para a realização do modelo representado na Fig. 6., vários métodos foram testados para se perceber qual o melhor resultado.

Para o vidro foram testados os materiais MAT\_032\_LAMINATED\_GLASS, MAT\_001\_ELASTIC e MAT\_280 GLASS, com elementos *Shell*, com elementos *Solid* em que o melhor modelo foi o modelo *Shell* com o material MAT\_001\_ELASTIC. Para o PVB foram testados também vários materiais como MAT\_098\_SIMPLIFIED\_JOHNSON\_COOK, MAT\_027\_MOONEY\_RIVLIN\_RUBBER, MAT\_077\_O-OGDEN\_RUBBER e MAT\_076\_GENERAL\_VISCOELASTIC, dos quais, apenas um apresentou resultados melhores (MAT\_98\_SIMPLIFIED\_JOHNSON\_COOK). Para se aplicar a carga, foram testados dois métodos (LOAD\_BLAST\_ENHANCED e LOAD\_NODE\_SET) sendo que a carga LOAD\_NODE\_SET apresentou resultados bastantes mais próximos da realidade.

Por fim realizou-se o modelo total representado na Fig. 7., juntando os dois modelos sendo que a equação dinâmica do dissipador de energia foi colocada num elemento *Beam* com o material MAT\_100\_SPOTWELD. O objetivo final deste modelo era de conseguir ter um grau de certeza para a realização de ensaios experimentais à escala real. Estes modelos permitiram verificar qual a melhor combinação de dissipadores com o painel de vidro laminado, assim como para ver se o vidro poderia partir ou não dependendo da carga aplicada.



Fig. 7. Início da rotura do painel de vidro com uma carga de 5kg@7m.

## 6. ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais revelaram-se um desafio devido a todas as condicionantes externas que foram interferindo. As cargas ensaiadas foram de 5kg@9m, 5kg@7k, 5kg@6m e 5kg@5m.

O painel ensaiado está representado na Fig. 8.



Fig. 8. Set-Up ensaiado com carga de 5kg@9m

Um dos problemas com os testes realizados, foi o impacto de projéteis que partiram o vidro, sendo que a análise da rotura do painel ficou fora que questão sendo que não era possível aferir o porquê da falha do painel.

Nos ensaios de 5kg@5m e 5kg@9m, o dissipador teve uma resposta elástica, sendo que, a redução de aceleração medida foi pelo menos 40% em relação ao painel de apoio rígido. Conclui-se a partir desta análise que o deslocamento no painel de vidro com dissipação de energia foi menor que o painel de vidro com apoios rígidos.



Fig. 9. Resposta dos dissipadores com carga 5kg@6m

Nos ensaios de 5kg@6m e 5kg@7m verificou-se que os dissipadores responderam com uma resposta plástica, sendo que a redução de aceleração medida foi apenas de 5%, no entanto, era de esperar mesmo não sendo visível a olho nu que a redução de dano fosse maior que no painel de apoio rígido.

Em suma, conseguiu perceber-se que houve de facto uma redução no deslocamento do painel com sistema de dissipação de energia, mas também que o dissipador tem de ser refinado, como por exemplo, aumentar o tamanho das células auxéticas, ou melhorar a localização dos mesmos para melhorar a resposta do painel de vidro laminado.

### Agradecimentos

A realização deste trabalho não seria possível sem o apoio das pessoas que mais me são próximas. À minha namorada, à minha família, aos meus amigos e camaradas o meu sincero agradecimento.

Agradeço em especial ao Professor José Oliveira Pedro e ao Tenente-Coronel de Engenharia Pedro Matias pelo tempo despendido e disponibilidade e pelos ensinamentos que transmitiram para a realização do trabalho.

Agradeço por último, mas não menos importante a toda a equipa do CCPI que tornou possível a investigação e os ensaios experimentais.

### REFERÊNCIAS

- [1] M. Kozłowski, A. Malewski, V. Akmadžić, and A. Vrdoljak, "Glass in structural applications," *e-Zbornik : ELECTRONIC COLLECTION OF PAPERS OF THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING*, vol. 9, no. 18, pp. 47–55, 2019, [Online]. Available: <https://e-zbornik.gf.sum.ba/en/235-glass-in-structural-applications>
- [2] B. Hoffman, "Terrorist Targeting: Tactics, Trends, and Potentialities," *Terrorism and Political Violence*, vol. 5, no. 2, pp. 12–29, 1993, doi: 10.1080/09546559308427205.
- [3] Gilbert F. Kinney and Kenneth J. Graham, *Explosive Shock in Air*, 2nd ed. New York: The Macmillan Company, 1985. [Online]. Available: [https://mail.126.com/js6/main.jsp?sid=JBJVZRPPOKiucygyTRPPBHpZopenIFff&df=mail126\\_letter%0Apapers3://publication/uuid/AAB230B2-1181-426C-AE51-1F62F1F0F6C1](https://mail.126.com/js6/main.jsp?sid=JBJVZRPPOKiucygyTRPPBHpZopenIFff&df=mail126_letter%0Apapers3://publication/uuid/AAB230B2-1181-426C-AE51-1F62F1F0F6C1)
- [4] E. Yandzio and M. Gough, *Protection of Buildings Against Explosions*. Teh Steel Construction Institute, 1999.
- [5] W. E. Baker, P. A. Cox, P. Westine, J. Kulesz, and R. A. Strehlow, "Explosion Hazards and Evaluation," vol. 5, 1983, doi: 10.1016/0379-7112(84)90044-4.
- [6] J. Wurm, *Glass Structures: Design and Construction of Self-Supporting Skins*. Birkhauser, 2007.
- [7] C O'Regan, "Structural use of glass in buildings ( Second edition )," no. 2nd Edition. 2014.
- [8] M. Kozłowski, A. Malewski, V. Akmadžić, and A. Vrdoljak, "Glass in structural applications," *e-Zbornik : ELECTRONIC COLLECTION OF PAPERS OF THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING*, vol. 9, no. 18, pp. 47–55, 2019, [Online]. Available: <https://e-zbornik.gf.sum.ba/en/235-glass-in-structural-applications>
- [9] M. Haldimann, A. Luible, and M. Overend, *Structural use of Glass*. 2008. doi: 10.2749/sed010.
- [10] A. Zemanová, P. Hála, P. Konrád, T. Janda, and R. Hlůžek, "The influence of interlayer properties on the response of laminated glass to low-velocity hard-object impact," *Int J Impact Eng*, vol. 159, no. October 2021, 2022, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2021.104036.
- [11] M. Lopo and P. Coutinho, "Mitigação de impactos com estruturas auxéticas impressas em 3-D .," p. 103, 2019.
- [12] J. M. Biggs, *Introduction to Structural Dynamics*. McGraw-Hill, 1964. doi: 10.1017/CBO9780511618086.
- [13] prEN 13474, "Glass in building - Determination of the strength of glass panes," *CEN European Committee for Standardization*, 2009.
- [14] I.-I. P. da Qualidade, "NP EN 1991-1-4:2010, Acções gerais, Acções do vento," 2010.
- [15] P. A. Hooper, R. A. M. Sukhram, B. R. K. Blackman, and J. P. Dear, "On the blast resistance of laminated glass," *Int J Solids Struct*, vol. 49, no. 6, pp. 899–918, 2012, doi: 10.1016/j.ijsolstr.2011.12.008.
- [16] X. Zhang, H. Hao, and Z. Wang, "Experimental study of laminated glass window responses under impulsive and blast loading," *Int J Impact Eng*, vol. 78, pp. 1–19, 2015, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2014.11.020.

## Projeto STRATEGY e o desenvolvimento de referenciais normativos - digitalização da Cadeia de Custódia de evidências NRBQ

L. M. Carvalho (1,2), W. Antunes (1,2), G. Pestana (3), T. R. da Silva (3), e J. Gouveia-Carvalho (1,2)

- (1) Unidade Militar Laboratorial de Defesa Biológica e Química, Exército Português, Lisboa, Portugal.  
Email: carvalho.lmf@gmail.com
- (2) CINAMIL, AM, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203 Lisboa, Portugal.
- (3) INOV – Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores Inovação, Lisboa, Portugal.

**Resumo:** Na gestão e resposta a crises, a normalização de conceitos, procedimentos, métodos e processos é uma opção particularmente importante nos domínios onde a interoperabilidade e a cooperação interinstitucional são fundamentais, pois a existência de um quadro normativo sólido garante uma mais eficiente, organizada e sistematizada preparação e resposta a várias tipologias de incidentes e eventos de emergência e proteção civil.

O presente artigo pretende dar a conhecer o projeto STRATEGY, o seu enquadramento, objetivos e metodologia e, em particular, o trabalho desenvolvido no domínio NRBQ (Nuclear, Biológico, Químico e Radiológico), no qual se encontram em desenvolvimento duas partes de uma especificação técnica no contexto da cadeia de custódia digital para evidências NRBQ.

**Palavras-chave:** gestão de crises, emergência e proteção civil, normalização, NRBQ.

### 1. INTRODUÇÃO

Os cenários de crise ou catástrofe são particularmente complexos - a preparação e, especialmente, a resposta a esse tipo de incidentes requer muitas vezes, senão sempre, uma ação coordenada de múltiplos intervenientes. Deste modo, a interoperabilidade e cooperação interinstitucional, em diferentes níveis de atuação- do local/municipal ao internacional, são fundamentais na capacidade e qualidade da resposta a tais cenários. Os documentos normativos (p.e normas e especificações técnicas) suportam, a par de outro tipo de documentos, a existência de linhas orientadoras bem definidas e focadas que, permitindo a sincronização dos diversos atores, otimizam o trabalho desenvolvido e potencializam os resultados obtidos.

O desenvolvimento de documentos normativos baseia-se, entre outros, no conhecimento de especialistas dos domínios em estudo, uma vez que somente desta forma se conseguem criar documentos eficientes, realistas e objetivos. Os projetos de Investigação & Desenvolvimento, nomeadamente aqueles que conseguem capitalizar o conhecimento disponível em múltiplas instituições, preferencialmente de diversos países, constituem-se assim como uma excelente ferramenta para o desenvolvimento de tais referenciais.

### 2. PROJETO STRATEGY

O projeto STRATEGY, formalmente intitulado *‘Facilitating EU pre-Standardization process Through streamlining and validating interoperability in systems and procedures involved in the crisis management cycle’* enquadra-se no programa de investigação e inovação Horizonte 2020 da União Europeia. Em particular no programa H2020-EU.3.7.5. - Aumentar a resiliência da Europa a crises e catástrofes (tradução do autor de: *Increase Europe’s resilience to crises and disasters*) (CORDIS, 2021).

#### 2.1. Consórcio e objetivos

O consórcio do projeto STRATEGY é composto por 23 instituições de 14 países europeus (AT, BE, DE, ES, FI, FR, GB, GR, IT, NL, NO, PT, RO e SE), entre as quais: agências de normalização, decisores políticos, parceiros tecnológicos, investigadores e agentes de emergência e proteção civil (Figura 1).

O consórcio encontra-se a trabalhar para responder ao desafio de:

*Promover, ao nível europeu, o processo de pré-normalização no âmbito da interoperabilidade dos sistemas, ferramentas e procedimentos envolvidos na gestão de crises.*



Fig 1. Organizações do consórcio do projeto STRATEGY

## 2.2. Áreas de trabalho e metodologia

Considerando os resultados de anteriores projetos, nos quais os intervenientes em cenários de crise descreveram as suas necessidades, bem como as prioridades definidas pela União Europeia, o projeto STRATEGY concentra as suas atividades em oito áreas de trabalho (designadas por *stream[s]*) – Tabela I.

Tabela I. Áreas de trabalho do projeto STRATEGY

Stream	Domínio técnico
1	Busca e salvamento
2	Proteção de infraestruturas críticas
3	Planeamento da resposta
4	Comando e controlo
5	Alerta rápido e avaliação de danos
6	NRBQ
7	Treino
8	Terminologia/Simbologia

As *streams* 6, 7 e 8 são considerados como domínios transversais, uma vez que podem correlacionar-se com qualquer uma das outras sete *streams*.

A Unidade Militar Laboratorial de Defesa Biológica e Química (UMLDBQ), dado o espetro da sua missão e também as suas competências nos domínios da Defesa Biológica e Defesa Química, constituiu-se como um dos especialistas do domínio NRBQ no STRATEGY, sendo o seu contributo particularmente importante na *stream* 6 - NRBQ.

Para alcançar os objetivos do projeto foi adotada uma metodologia que pode ser descrita em quatro etapas chave:

- I. Panorama da normalização – identificação de *gaps* (lacunas) por *stream*, que foram posteriormente selecionadas no sentido de se definir aquelas que seriam efetivamente trabalhadas no projeto.
- II. Definição de normas e casos de uso – desenvolvimento de documentos normativos que respondem às *gaps* identificadas e definição de casos de uso para posterior teste e avaliação dos referidos documentos.

III. *Tabletop exercises* – implementação de vários exercícios do tipo *Tabletop* (TTX), nos quais se aplicaram, testaram e avaliaram o conteúdo dos documentos normativos em desenvolvimento, sendo os resultados obtidos utilizados na correção e melhoria dos referidos documentos.

IV. *Full-scale exercise* – nesta etapa será implementado em Itália, na primavera de 2023, um exercício *Full-scale* (FSX), que integrará múltiplos incidentes que permitam avaliar todos documentos normativos em desenvolvimento no projeto STRATEGY.

## 3. Especificações Técnicas no domínio NRBQ

Na *stream* 6 (NRBQ) do projeto, 14 *gaps* foram originalmente identificadas (STRATEGY, 2020), das quais 5 foram posteriormente selecionadas. Essas *gaps* relacionavam-se, entre outros, com veículos aéreos não tripulados (drones), treino e terminologia e *situational awareness* data no domínio NRBQ.

Por conseguinte, deu-se, com o suporte da agência finlandesa de normalização (Suomen Standardisoimisliitto SFS ry), início à produção de uma Especificação Técnica, cujas duas partes em elaboração foram posteriormente apresentadas ao Comité Europeu de Normalização (CEN). Em 21 de junho de 2022 foi formalmente aceite o seu desenvolvimento com a aprovação dos dois respetivos *New Work Item Proposal*. A elaboração dos documentos ficou a cargo do *Working Group 2 – CBRN do Technical Committee 391 (Societal and Citizen Security.)* do Comité CEN, do qual fazem parte o *Project Liaison Officer* do STRATEGY e o líder da *stream* 6 do projeto.

Os documentos em desenvolvimento intitulam-se

### *Digital Chain of Custody for CBRNE Evidence*

#### *Part 1: Overview and Concepts*

#### *Part 2: Data Management and Audit*

e centram-se no processo digital de implementação e gestão da cadeia de custódia para evidências NRBQ, no qual se incluem tanto as amostras colhidas como as medições efetuadas nos cenários NRBQ.

Nas Especificações Técnicas descreve-se uma forma de digitalizar o, já por si só complexo, o processo de cadeia de custódia. A mudança de um processo atualmente baseado na utilização de formulários em papel requer que se cumpram todos os preceitos inerentes à cadeia de custódia e, ainda, que se assegurem todas as medidas de segurança da gestão de informação que passou a estar e a ser transmitida em formato digital. Para isso tornou-se necessário criar novos e inovadores conceitos, nomeadamente para descrever os momentos de transferência digital da informação (associados à transferência física das evidências) e os descritores adequados aos dados a serem geridos, salvaguardando sempre a resiliência do processo e a possibilidade de auditoria e rastreamento do mesmo - garantias da admissibilidade da informação e, consequentemente, das evidências no contexto forense e judicial.

Estas especificações técnicas serão um referencial normativo onde programadores e desenvolvedores de *software* de gestão de incidentes/crises poderão encontrar recomendações para a produção de soluções tecnológicas eficientes. Em última análise, tais *softwares* beneficiarão tanto os operacionais que trabalham nos complexos cenários NRBQ, uma vez que permitirão simplificar o registo dos dados das evidências em cenários contaminados, como os comandantes dos incidentes e, posteriormente, os decisores (políticos, judiciais ou outros), tendo em conta a expectável melhoria em termos de *situational awareness* e da gestão da informação associada.

As duas especificações técnicas foram discutidas por um grupo de aproximadamente 40 especialistas num TTX em Lisboa, que decorreu entre 11 e 14 de outubro e foi organizado pela UMLDBQ/CINAMIL. Os participantes tiveram ainda a oportunidade de visitar o CELULEX 2022, o exercício anual do Exército Português no domínio NRBQ, onde tiveram puderam observar os procedimentos de colheita de amostras e gestão da cadeia de custódia em cenários operacionais de ameaça Química e Biológica (Figura 2).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo último do projeto STRATEGY é otimizar a resposta operacional dos intervenientes em cenários de crise e catástrofe, através do desenvolvimento de documentos normativos que permitam a existência de soluções, ferramentas e procedimentos baseados nos conceitos de interoperabilidade e cooperação interinstitucional. Desta forma, a elaboração das especificações técnicas para a gestão da cadeia de custódia digital em cenários NRBQ, a par de todos os outros documentos normativos em desenvolvimento no projeto, permitirá aumentar a resiliência e preparação dos países europeus, e de outros que decidam implementar os documentos normativos criados, face a situações de crise.



Fig 2. Membros do consórcio de do Advisory Board do projeto STRATEGY durante a visita ao CELULEX22

### Agradecimentos

Esta publicação resulta do trabalho desenvolvido no âmbito do projeto STRATEGY, o qual é financiado pelo programa de investigação e inovação da União Europeia *Horizonte 2020*:



*This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement N.º 883520.*

### REFERÊNCIAS

CORDIS EU research results (2021, 25 de outubro).

Facilitating EU pre-Standardization process Through stReamlining and vAlidating inTeroperability in systems and procEdures involved in the crisis manaGement cYcle (Fact Sheet) [Página *online*]. Retirado de <https://cordis.europa.eu/project/id/883520>

STRATEGY (2020, novembro). D1.1 *Standardisation Landscape: Gaps and Opportunities* (Entregável do projeto ainda não disponível publicamente).

STRATEGY (2021, junho). D2.6 *Use cases for CBRNE interoperability standards* (Entregável do projeto ainda não disponível publicamente).

## Práticas de Economia Circular no Setor da Aviação

R. Rosa (1), G. Silva (2) e P. Gomes (3)

- (1) PhD Student at ISEG, Lisbon School of Economics & Management - Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal - [raquel.rosa@phd.iseg.ulisboa.pt](mailto:raquel.rosa@phd.iseg.ulisboa.pt)
- (2) ADVANCE/CSG, ISEG, Lisbon School of Economics & Management - Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal - [gracamsilva@iseg.ulisboa.pt](mailto:gracamsilva@iseg.ulisboa.pt)
- (3) College of Business, Florida International University, Miami, Florida, USA - [pgomes@fiu.edu](mailto:pgomes@fiu.edu)

### Resumo:

Uma das principais preocupações nas agendas nacionais e mundiais são as alterações climáticas. Os desafios no setor da aviação não são exceção, sendo este um dos mais poluentes e ruidosos na opinião dos *stakeholders*. O avião é um dos meios de transporte mais utilizados no mundo (tanto na aviação civil como militar), neste sentido, há um objetivo crescente na redução da "pegada" ambiental neste sector. A aviação circular e sustentável vai além da redução de perdas e resíduos durante os voos, pelo que, temos de repensar todo o ciclo, desde a sua produção até ao fim da vida útil do bem ou serviço. Para prolongar a utilização dos bens e serviços devemos ter em conta os R's da economia circular (*refuse, rethink, reduce, reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose, recycle e recovery*). A pandemia COVID-19 causou um grande impacto na logística da cadeia de abastecimento global, tornando a investigação nesta área fundamental. Como metodologia, este breve estudo tem por objetivo analisar o estado de arte das práticas de economia circular através dos R's mais presentes na aviação. Para a Revisão de Literatura Sistemática utilizou-se o método PRISMA, e analisaram-se um total de 30 artigos. Pretende-se ainda identificar novos tópicos para agenda futura e contribuir para a área de sustentabilidade e práticas de economia circular nas operações.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; aviação; economia circular; R's; práticas circulares e sustentáveis; *triple bottom-line*; COVID-19; gestão sustentável da cadeia de abastecimento;

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Motivação e background

Embora existam vários estudos que avaliam o efeito das diferentes práticas sustentáveis no desempenho sustentável no contexto da produção e serviços (Zhu & Sarkis, 2004, 2007, Zhu et al, 2005, 2007; Azevedo et al., 2011; Green et al., 2012; Lee et al., 2012; Laosirihongthong et al., 2013; Laari et al., 2018), poucos estão focados no setor público e ainda menos no Setor da Defesa e da Aviação. A pandemia devido à COVID-19 criou novos desafios à gestão da cadeia de abastecimento (Belhadi et al., 2021, Ye et al., 2019), especialmente no que diz respeito à sua resiliência e sustentabilidade (Sarkis, 2020).

O papel do Sector Público tem uma suprema importância na promoção da adoção de novas iniciativas simbióticas relacionadas com o novo modelo de economia circular (EC) ao longo do tempo (Lehtoranta et al., 2011; Ghisellini, et al., 2016).

A literatura nesta área está fragmentada e dispersa, dando pouca atenção à implementação e implicações das práticas EC em modelos de negócio e cadeias de abastecimento (Aminoff & Kettunen, 2016; Lewandowski, 2016; Lieder & Rashid, 2016).

Em termos de inovação e transição para uma EC, torna-se importante estudar e integrar os princípios subjacentes à circularidade e [sustentabilidade] na cadeia de abastecimento (Aminoff & Kettunen, 2016; Hopkinson, Zils & Hawkins 2016; Silva, Gomes & Sarkis, 2019), e compreender as suas implicações/resultados (Nasir et al., 2016; Genovese et al., 2017).

Segundo Kassel (2012), o conceito de "Sustentabilidade" ainda continua ambíguo, contudo, em 1987 e de forma intemporal, o "Desenvolvimento Sustentável" foi definido como um "*desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades*" (Relatório Brundtland, 1987).

De acordo com Elkington (1997), a sustentabilidade baseia-se em três pilares ou dimensões: social, económica e ambiental, onde a ordem não é relevante. Estes pilares constituem o *triple bottom-line* (TBL) [também vulgarmente denominada de 3P's – Pessoas, Planeta e Lucro, do inglês *Profit*], que tem por objetivo satisfazer as necessidades de recursos das gerações atuais e futuras sem prejudicar o meio ambiente (Sadaf, Ovais & Majava, 2021).

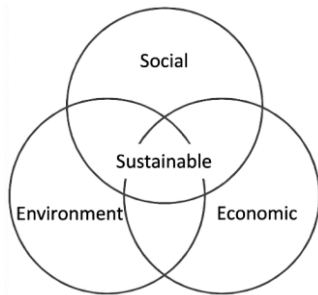


Figura 1: Triple Bottom-line (Fonte: Elkington, 1998)

Desde os anos 90, que os autores continuam a explorar o termo sustentabilidade ou a expressão desenvolvimento sustentável. Contudo, surgem novos conceitos derivados, como: “economia circular” (Geissdoerfer et al., 2016; Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016; Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017), “simbiose industrial” (Baldassarre et al., 2019; Boons, Spekkink, & Mouzakitis, 2011; Chertow, 2009; Lombardi & Laybourn, 2012) entre outros.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1 Economia Circular

Há um reconhecimento crescente de que o atual modelo linear da nossa economia é altamente insustentável, e precisamos de avançar com uma forma mais sustentável de conduzir negócios e gerar valor (Sarja & Onkila, 2021).

Existem muitas definições de EC na literatura (por exemplo, PNUA, 2010; CE, 2015; EMF e McKinsey & Company 2012, 2013, 2014; Accenture, 2014; e SUN, 2015). Uma das mais recentes e aclamadas é a da Comissão Europeia (CE), que define EC como um modelo “em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia durante o maior tempo possível, e a geração de resíduos minimizada” (Comissão Europeia, 2015).

O tema da EC está no topo da agenda internacional e política, em particular na Europa (CE, 2014a,b, 2015a). A importância da transição para uma EC tem sido uma grande preocupação a nível governamental (Ghisellini, Cialani & Ulgiati, 2016). Por exemplo, em 2015, a UE propôs um Plano de Ação para a Economia Circular (CE, 2015), com atualizações em 2019, com muitas ações e indicadores. Nacionalmente, os países adaptam o normativo à sua realidade.

Os axiomas iniciais do modelo EC foram denominados de “3R’s”: Redução de resíduos, reutilização e reciclagem de recursos e produtos, e tornaram-se familiares em todo o mundo (Gaustad et al., 2018; Vermeulen et al., 2018). Evoluíram para 5 R’s: Onde se acrescentou a ideia de “Recuperar”, que se refere à prática de utilizar resíduos, lembrar que, resíduo não tem de ser obrigatoriamente lixo. “Repensar”, que é o último R, é por vezes adicionado à frente da hierarquia dos resíduos, o que significa

que as pessoas devem considerar as suas opções e pensar sobre o seu impacto no ambiente (Li et al., 2015).

Ao longo dos anos, vários estudos e investigadores propuseram 7 R’s, introduzindo-se “resiliência” e “regulação” (Li & Xiao, 2017). Ainda outros autores introduzem: redesenhar, renovar, reduzir, reutilizar, reparar, recuperar e reciclar... (Reike et al., 2018). Para o presente estudo, adotaram-se os 10 R’s de Potting et al. (2017), sendo estes os seguintes: *Refuse* (R0), *Rethink* (R1), *Reuse* (R2), *Repair* (R3), *Refurbish* (R4), *Remanufacture* (R5), *Repurpose* (R6), *Repurpose* (R7), *Recycle* (R8) e *Recovery* (R9).

### 2.2 Aviação Circular

A aviação é um dos sectores comerciais que mais cresce no mundo, servindo mais de mil milhões de passageiros e envolvendo muitos milhões de toneladas de carga por ano, contribuindo muito para o Produto Interno Bruto (PIB) mundial. Sendo parte integrante das necessidades económicas e logísticas da sociedade, o crescimento da indústria aeronáutica é inevitável.

A expansão da indústria aeronáutica foi recebida com um aumento simultâneo de preocupação com a sua pegada ambiental. Neste sentido, vários *stakeholders* têm intervindo, por exemplo, o “*Future Sky Circular Aviation*” é um programa desenvolvido pela *Association of European Research Establishments in Aeronautics* para enfrentar os múltiplos desafios ambientais enfrentados pela aviação no caminho da sustentabilidade (EREA, 2022). A própria Administração Federal da Aviação, maior agência de transporte do governo dos EUA, tem vindo a defender o conceito de sustentabilidade no planeamento, conceção e funcionamento dos aeroportos [ao longo de toda a cadeia de abastecimento]. Isto requer investigação e consideração sobre o crescimento económico, a pegada ambiental e a responsabilidade social (Sebastian & Louis, 2021). Por exemplo, para a pegada ambiental de um aeroporto também contribui a poluição atmosférica e sonora, consumo de energia e combustível, consumo de água, gestão de resíduos (todos estes elementos são importantes para medir e avaliar a sustentabilidade do mesmo). Resumidamente, o aparecimento do COVID-19 teve um impacto enorme na indústria aeronáutica a nível global (Sebastian & Louis, 2021).

A Força Aérea Portuguesa (FA) é parte integrante do sistema de forças nacional e tem por missão cooperar, de forma integrada, na defesa militar da República, através da realização de operações aéreas, e na defesa aérea do espaço nacional. Neste sentido, o aprontamento e manutenção dos Sistemas de Armas, ao mesmo tempo, amigo do ambiente, representa um verdadeiro desafio no dia a dia dos militares e civis da FA e das Forças Armadas em geral.

O impacto do pós COVID-19 foi avassalador em todos os sectores e a indústria aeroespacial e o setor da aviação não foram exceção. A sustentabilidade e a EC de produção e materiais avançados sustentáveis desempenham um papel fundamental na redução global da energia no processo (Vaidya & Hopkins, 2021).

A União Europeia (UE) tem um compromisso claro para a substituição gradual dos combustíveis fósseis por energias renováveis. Entre os objetivos definidos para 2050, o maior foco é na redução de emissões de dióxido de carbono, atingindo a tão conhecida neutralidade carbónica. Além disso, os meios aéreos devem ser concebidos e fabricados para serem recicláveis. Neste quadro, e para satisfazer os requisitos atuais e futuros, novos materiais inovadores, técnicas de *design* e processos de fabrico devem ser desenvolvidos para aumentar a eficiência e reduzir o consumo e descarte descontrolado (Blanco et al. , 2020). A figura 2 ilustra um modelo de economia linear, sustentável e circular, tendo em conta os diferentes R's:

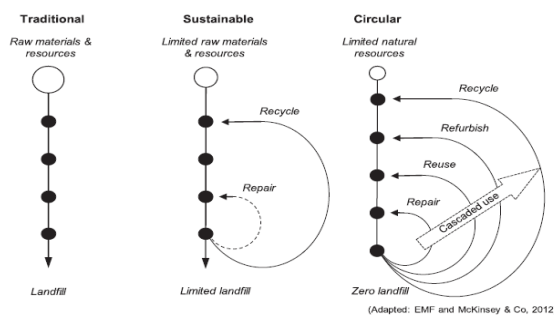


Figura 2: Ilustração de cadeias de abastecimento tradicionais, sustentáveis e circulares (Fonte: Angelis R., et. al, 2018)

### 3. Metodologia

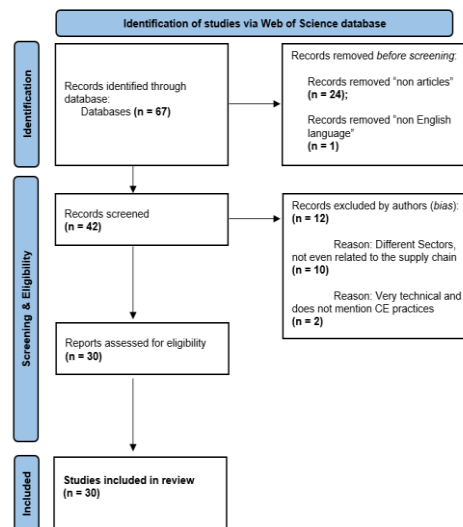
Para a Revisão de Literatura Sistemática (RLS) os critérios de seleção foram os seguintes (tabela I):

Tabela I: Critérios de seleção em inglês, Web of Science (WoS) - Clarivate Analytics)

Selection Criteria	Exclusion Criteria
Publication's years: 1990 - 2022	Duplicate articles
Document Types: Articles	Not mention circular economy practices
Keyword: "circular economy"	Out of context / scientific area
Keywords: "aviation" or aircraft or airports or aerospace or aeronautical or defence or army or military	No access to original article
Publications only in English	

Com as palavras-chave supra obtiveram-se cerca de 67 artigos, após a leitura dos *abstracts* numa primeira fase e depois dos artigos, foram expurgados 17 artigos, ficando com um n = 30 no total para análise (tabela II). O *bias* foi reduzido pois todos os autores leram os artigos e participaram no *screening* e elegibilidade dos mesmos.

Tabela II: PRISMA Statement (<http://www.prisma-statement.org/>)



### 4. Resultados e Discussão

Com várias ferramentas constata-se que EC é um *hot topic*. As áreas de estudo que mais estudam este tema são as ciências e estudos ambientais, tecnologia, engenharia e só por fim a gestão.

A investigação nesta área é crescente, tendo sofrido um *boom* desde 2015 em diante, muito provável pelas medidas europeias e nacionais emanadas neste período (figura 3).

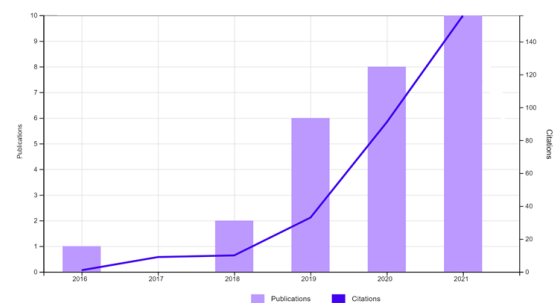


Figura 3: Análise das 30 publicações nos últimos anos (WoS)

Portugal encontra-se no TOP3 de países com mais publicações, representado por seis (6 publicações), logo a seguir à Inglaterra.

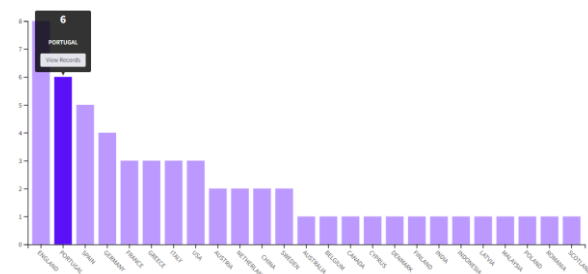


Figura 4: Análise dos 30 artigos por país (WoS)

Deste universo em análise, os *journals* com mais publicações nesta área são o: *Sustainability, Journal of Cleaner Production, Resource Conservation & Recycling and Aerospace MDPI*.

As metodologias mais utilizadas são Estudos de Caso (13), experimentais (11), Revisões (5) e por fim, *Action research* e arquivo documental (1).

As ferramentas e abordagens mais utilizadas são o: *Life Cycle Assessment Model* (5); *Design Thinking Business Models* (4) ; *Product-Service Systems Business Model* (3); *Experimental / Project; Statistical; Multi-criteria decision making, Scenario modelling; Constant Comparative Analysis, Review CSR and GRI databases, etc.*

Dos estudos, 13 referem-se ao setor privado, 6 ao setor público e 11 não especificam o setor de forma clara. Já os tipos de indústria mais analisados são os seguintes por ordem decrescente: *aviation/aeronautical/aircraft/aerospace sectors* (21); *Construction sector, manufacturing, steel industry/benchmarking* (3), *Ammunition Industry* (2), *Biomedical and Healthcare* (2) e *others* (2).

Relativamente ao TBL, a dimensão mais abordada nos estudos é a ambiental (29), a económica (22) e por fim, a social (com apenas 6). Dos trinta, dezassete artigos estão alinhados com a persecução dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da UE.

Quanto à EC, 16 artigos dão ênfase ao ciclo biológico e 14 ao ciclo tecnológico do diagrama de EC da Ellen MacArthur Foundation (figura 5).

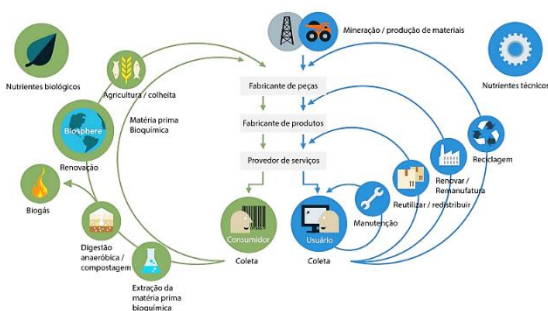


Figura 5: Diagrama Sistemático de Economia Circular, EMF, 2019 (<https://www.ellenmacarthurfoundation.org>)

Tabela III: Apresentação resumida da presença dos R's na literatura de aviação (Fonte: Elaboração própria)

R's	R's	Brief description	How many articles studied this R's?
R0	Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product	0
R1	Rethink	Make a product use more intensive (eg.g. through sharing products or by putting multi-functional products on the market)	0
R2	Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources	18
R3	Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfills its original function	7
R4	Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function	2
R5	Refurbish	Restore an old product and bring it up to date	1
R6	Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function	5
R7	Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function	0
R8	Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) Quality	20
R9	Recovery	Incineration of materials with energy recovery	4

Na amostra da tabela III, nenhum artigo falou sobre os R's: *Refuse* (R0), *Rethink* (R1) e *Repurpose* (R7). Já os mais abordados na literatura foram, respetivamente: *Recycle* (R8), *Reduce* (R2), *Reuse* (R3) e *Remanufacture* (R6). Cerca de 28 artigos

abordam menos de 3 R's, e somente 2 abordam mais do que 3 R's. O máximo de R's abordados num artigo foram 7.

## 5. Conclusões

Constata-se que existem poucas publicações nas áreas de Gestão, Negócio, Economia, Contabilidade e Reporting. A reciclagem é o R mais estudado e o que deve ser mais "evitado", pois envolve um descarte na mesma. Os estudos experimentais e de caso são as estratégias mais utilizadas. A dimensão menos estudada é a social e a mais investigada é a ambiental, realça-se assim, a importância de não menosprezar nenhuma dimensão e tentar integrá-las. Neste sentido, sendo um tema de elevada importância e preocupação por parte de todos os *stakeholders*, estas fragilidades devem ser vistas como pistas futuras e contribuem teoricamente para a área de sustentabilidade, mais concretamente para as práticas de EC.

### 5.1 Limitações e investigação futura

O estudo limita-se a um sector específico, a amostra era pequena e é um tema holístico com muitas palavras-chave como sinónimos, sendo até difícil definir os critérios de pesquisa.

Quanto a investigações futuras sugere-se estudos que integrem mais R's e áreas multidisciplinares. Que se apliquem outras estratégias, metodologias e ferramentas inovadoras, por exemplo, apoiar esta revisão sistemática utilizando a mineração de dados, do inglês *text/data mining*, efetuar um estudo de caso e mapear as boas práticas, construindo uma *framework* de implementação e transição para um modelo de EC.

No seguimento das *“Future Sky Circular Aviation Initiatives”*, sugerem-se alguns tópicos que devem ser objeto de investigação relacionados com o *design* do(s) produto(s), a produção e operações, o ciclo de vida do produto ou serviço, políticas e regulamentos. A lei deve encorajar e beneficiar projetos e compras mais verdes alinhando com os *Green Paper* da UE.

Quanto ao Ministério da Defesa Nacional, mais concretamente nas Forças Armadas Portuguesas, explorar as medidas associadas ao primeiro e novo roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 na Força Aérea (RNC2050FA, 2022), garantido mecanismos de controlo interno para o cumprimento do proposto, e introduzir temas como novos modelos de negócio, *supply chain network*, manufatura aditiva, indústria 4.0, *blockchain*, inteligência artificial, novos SI's, etc.

**Agradecimentos:** Os nossos agradecimentos vão para a AFA, ISEG e FIU que nos prestam um apoio incondicional. Aos nossos familiares, amigos, colegas e camaradas, um “obrigada”, pela compreensão e paciência ao longo desta jornada.

## REFERÊNCIAS

- Aminoff, A., and O. Kettunen. 2016. "Sustainable Supply Chain Management in a Circular Economy." In *Sustainable Design and Manufacturing*, edited by R. Setchi, R. Howlett, Y. Liu, and P. Theobald, 61–72. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-32098-4_6)
- Baldassarre, B., Schepers, M., Bocken, N., Cuppen, E., Korevaar, G., & Calabretta, G. (2019). Industrial symbiosis: Towards a design process for eco-industrial clusters by integrating circular economy and industrial ecology perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 216, 446–460. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.091>
- Blanco, D. et al. (2020) 'Thicknesses/roughness relationship in mg-al-mg and mg-ti-mg hybrid component plates for drilled aeronautical lightweight parts', *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(22), 1–20. <https://doi.org/10.3390/app10228208>
- Belhadi A., Kamble S., Jabbour C.J.C., Gunasekaran A., Ndubisi N.O., Venkatesh M. Manufacturing and service supply chain resilience to the COVID-19 outbreak: lessons learned from the automobile and airline industries. *Technol. Forecast. Soc. Change*. 2021 <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120447>
- Boons, F., Spekink, W., & Mouzakitis, Y. (2011). The dynamics of industrial symbiosis: A proposal for a conceptual framework based upon a comprehensive literature review. *Journal of Cleaner Production*, 19(9–10), 905–911. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.01.003>
- Chertow, MR., (2009). The dynamics of regions and networks in industrial ecosystems. *Dynamics of geographically based industrial ecosystems*. In: Ruth Matthias, Davidsdottir Brynhildur, editors. Northampton, MA: Edward Elgar. ISBN: 9781847207425.
- Donthu, N. et al. (2021) 'How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines', *Journal of Business Research*. Elsevier Inc., 133(April), 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- EC - European Commission, (2015). Closing the Loop – an EU Action Plan for the Circular Economy. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614>
- Elkington, J. (1997), *Cannibals with Forks: The Triple Bottom Line of 21st Century Business*, Capstone, Oxford. ISBN: 978-1-841-12084-3
- EMF (2013). Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Online publication: *Ellen MacArthur Foundation*.
- Gaustad, G. et al. (2018) 'Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues', *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.002>
- Geissdoerfer, M., Bocken, N.M.P., Hultink, E.J., 2016a. Design thinking to enhance the sustainable business modelling process. *Journal of Cleaner Production*. 135, 1218–1232. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.020>
- Genovese, A. et al. (2017) 'Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications', *Omega (United Kingdom)*. Elsevier, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Ghisellini, P., Cialani, C. and Ulgiati, S. (2016a,b) 'A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Govindan, K., Azevedo, S., Carvalho, H. Carvalho, Cruz-Machado, V. (2014). Impact of supply chain management practices on sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 85, 212–225, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.068>
- Green, K.W., Zelbst, P.J., Meacham, J. and Bhaduria, V.S. (2012), "Green supply chain management practices: impact on performance", *Supply Chain Management*, Vol. 17 No. 3, 290–305. <https://doi.org/10.1108/13598541211227126>
- Hopkinson, P., Zils, M., Hawkins, P., & Roper, S. (2018). Managing a complex global circular economy business model: opportunities and challenges. *California Management Review*, 60(3), 71–94. <https://doi.org/10.1177/0008125618764692>
- Karagiannis, I. (2019) 'Sustainability reporting, materiality, and accountability assessment in the airport industry', 1370–1405. doi: <https://doi.org/10.1002/bse.2321>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *SSRN Electronic Journal*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kouhizadeh, M., Sarkis, J. and Zhu, Q. (2019) 'At the nexus of blockchain technology, the circular economy, and product deletion', *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(8). <https://doi.org/10.3390/app9081712>
- Laari, S., Töyli, J., & Ojala, L. (2018). The effect of a competitive strategy and green supply chain management on the financial and environmental performance of logistics service providers. *Business Strategy and the Environment*, 27(7), 1–12. <https://doi.org/10.1002/bse.2038>
- Laosirihongthong, T., Adebajo, D., & Choon Tan, K. (2013). Green supply chain management practices and performance. *Industrial Management & Data Systems*, 113(8), 1088–1109. <https://doi.org/10.1108/IMDS-04-2013-0164>
- Lee, C.-S., Ho, J. C., & Niu, K.-H. (2012). Guest editors' introduction to the special issue on regional clusters and global competitiveness. *Competitiveness Review*, 22(2). <https://doi.org/10.1108/cr.2012.34722baa.001>
- Lee, Potting, J. et al. (2017) Circular economy: Measuring innovation in the product chain, *PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*.
- Lehtoranta, S., Nissinen, A., Mattila, T., Melanen, M., 2011. Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption and production. *Journal of Cleaner Production* 19, 1865–1875. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.002>

- Li, G., H. Fan, P. K. Lee, and T. C. Cheng. 2015. “Joint Supply Chain Risk Management: An Agency and Collaboration Perspective.” *International Journal of Production Economics* 164: 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.02.021>
- Li, X. and Xiao, R. (2017). Analyzing network topological characteristics of eco-industrial parks from the perspective of resilience: A case study. *Ecological Indicators*. 74. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.031>
- Lombardi, D., & Laybourn, P. (2012). Redefining industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28–37. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00444.x>
- Nasir, M., A. Genovese, A. Acquaye, and S. Koh. 2016. “Comparing Linear and Circular Supply Chains: A Case Study from the Construction Industry.” *International Journal of Production Economics*, 183: 443–457. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.008i>
- Razminiene, K. (2019) ‘Circular economy in clusters’ performance evaluation’, *Equilibrium*, 14(3), 537–559. <https://doi.org/10.24136/eq.2019.026>
- RNC2050FA – Roteiro para a neutralidade Carbónica da Força Aérea (2022). <https://www.emfa.pt/p-960-neutralidade-carbonica>
- Sadaf, I., Ovais, M. and Majava, J. (2021) ‘Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line , Circular Economy and Sustainable Business Models perspectives’, *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 297, 126-655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655>
- Sarja, M. and Onkila, T. (2021) ‘A systematic literature review of the transition to the circular economy in business organizations: Obstacles, catalysts and ambivalences’, *Journal of Cleaner Production*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125492>
- Sarkis, J. (2021) ‘Supply chain sustainability: learning from the COVID-19 pandemic’, *International Journal of Operations and Production Management*, 41(1), pp. 63 - 73. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-08-2020-0568>
- Sebastian, R. M. and Louis, J. (2021) ‘Understanding waste management at airports: A study on current practices and challenges based on literature review’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd, 147(May), 111-229. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111229>
- Shabbir, M. S. et al. (2021) ‘Closed-loop supply chain network design with sustainability and resiliency criteria’, *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12980-0>
- Silva, G., Gomes, P. and Sarkis, J. (2019). The role of innovation in the implementation of green supply chain management practices. *Business Strategy and the Environment*, 28. <https://doi.org/10.1002/bse.2283>
- Reike, D. Walter J.V. Vermeulen, Sjors Witjes (2018), The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? - Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options, *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246-264, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Vaidya, U. and Hopkins, J. (2021) “IACMI–The Composites Institute Efforts in Current and Post–COVID- 7 19 Manufacturing Era - Innovations and Sustainability,” *Smart and Sustainable Manufacturing* 5, no. 1, 1–8. <https://doi.org/10.1520/SSMS20200070>
- Ye, F., Liu, K., Li, L., Lai, K-H, Zhan, Y. and Kumar, A. (2022) *International Journal of Production Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108396>
- Zhu, Q. and Sarkis, J. (2004), “Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises”, *Journal of Operations Management*, Vol. 22 No. 3, 265-89. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2004.01.005>
- Zhu, Q., Sarkis, J., & Geng, Y. (2005). Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance. *International Journal of Operations and Production Management*, 25(5), 449–468. <https://doi.org/10.1108/01443570510593148>
- Zhu, Q., & Sarkis, J. (2007). The moderating effects of institutional pressures on emergent green supply chain practices and performance. *International Journal of Production Research*, 45 (18–19), 4333–4355. <https://doi.org/10.1080/00207540701440345>

#### Anexos:

Este output contribui primariamente para os seguintes [Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da União Europeia e das Nações Unidas](#):



## Plataforma avançada de deteção de *websites* de *phishing* para efeitos de Cibersegurança e de Ciberdefesa

**Autores: C. Pires (1), J. Borges (2)**

(1) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203 Lisboa, Portugal. pires.cecv@academiamilitar.pt

(2) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar, Academia Militar, Instituto Universitário Militar, Rua Gomes Freire, 1169-203 Lisboa, Portugal. jose.borges@academiamilitar.pt

**Resumo:** O *phishing* é um problema que afeta qualquer tipo de organização, seja ela civil ou militar. Diversos agentes maliciosos utilizam esta técnica na execução de ataques de engenharia social que pretendem levar a que utilizadores mais incautos executem atividades que contribuem para os objetivos do adversário. Este artigo propõe a criação de uma plataforma que detete, adquira, processe, classifique, armazene e correlacione artefactos associados a *websites* de *phishing* cujo objetivo tático seja o de obter informações sensíveis. Pretende-se que a plataforma contribua, através de metodologias de *Machine Learning* e de Inteligência Artificial, para a execução de respostas eficazes e eficientes contra ameaças desta natureza. São apresentados dois casos de uso que demonstram como é que a plataforma poderá auxiliar nas atividades das equipas de *Cyber Threat Intelligence*, ciberdefesa, cibersegurança e de antifraude.

**Palavras-chave:** Ciberdefesa, Cibersegurança, Inteligência Artificial, *Machine Learning*, *Phishing*.

### 1. INTRODUÇÃO

Este artigo propõe a criação de uma plataforma inovadora que tem o objetivo de detetar, adquirir, processar, classificar, armazenar e correlacionar elementos (designados por “artefactos”) de domínios e *websites* que contenham ou sejam considerados suspeitos de poder vir a conter páginas de *phishing* (designados por “entidades”). A plataforma pretende dotar os analistas de cibersegurança e ciberdefesa com uma ferramenta de utilização eficiente, personalizável com os requisitos específicos dos utilizadores finais, disponibilizando assim capacidades inovadoras na deteção e classificação de entidades.

São ainda identificados dois casos de uso que demonstram como é que uma plataforma desta natureza pode auxiliar no processo de tomada de decisão dos analistas, seja no contexto de um Centro de Operações de Cibersegurança (SOC - *Security Operations Centre*) civil ou militar, ou no contexto de uma equipa ou empresa que disponibilize serviços de deteção e monitorização de ciberameaças. A sua utilização num ambiente de teste, mas com entidades reais, irá possibilitar a aferição da sua eficácia e eficiência na deteção e monitorização de entidades, contribuindo para o sucesso das operações de cibersegurança e ciberdefesa nos cenários detalhados nos casos de uso.

Souppaya e Scarfone (2013) descrevem *phishing* como "a utilização de meios informáticos decetivos de forma a enganar indivíduos para que estes divulguem informações sensíveis".

Recentemente, em 2021, a Agência Europeia para a Cibersegurança (ENISA) identificou o *phishing*

como sendo uma das principais tendências de ciberameaças. No período compreendido entre abril de 2020 e julho de 2021 o "comprometimento através de *emails* de *phishing*, e os ataques de força-bruta (*brute force*) aos serviços de *Remote Desktop* (RDS) mantiveram-se como sendo os dois principais vetores de infeção por *ransomware*", sendo que o "modelo de negócio de *Phishing-as-a-Service* (PhaaS) começou a ser predominante" (European Union Agency for Cybersecurity, 2021).

Também o Centro Nacional de Cibersegurança, no relatório Riscos & Conflitos identifica o *phishing*, *smishing* e *vishing* como fazendo parte das ciberameaças dominantes em Portugal (Centro Nacional de Cibersegurança, 2022), e a empresa Verizon, na edição de 2022 do seu relatório anual que estuda incidentes de cibersegurança, identifica o *phishing* como um dos principais fatores associados aos incidentes analisados (Widup *et al.*, 2022).

Na Figura 1 são sistematizados os diversos canais que podem ser utilizados por um agente malicioso (denominado por “adversário”) na disseminação de entidades de *phishing*, bem como os seus potenciais objetivos táticos. Esta sistematização foi feita com base na análise das diversas táticas, técnicas e procedimentos (TTP) dos grupos descritos no MITRE ATT&CK Matrix for Enterprise (Strom *et al.*, 2018), sendo complementada com outros canais que podem ser utilizados com a mesma finalidade, como é o caso de *QR Codes* distribuídos em *flyers* que encaminham as potenciais vítimas para entidades maliciosas (Vidas *et al.*, 2013).

De realçar que um adversário, no desenvolvimento de uma campanha pode recorrer a um ou mais ataques

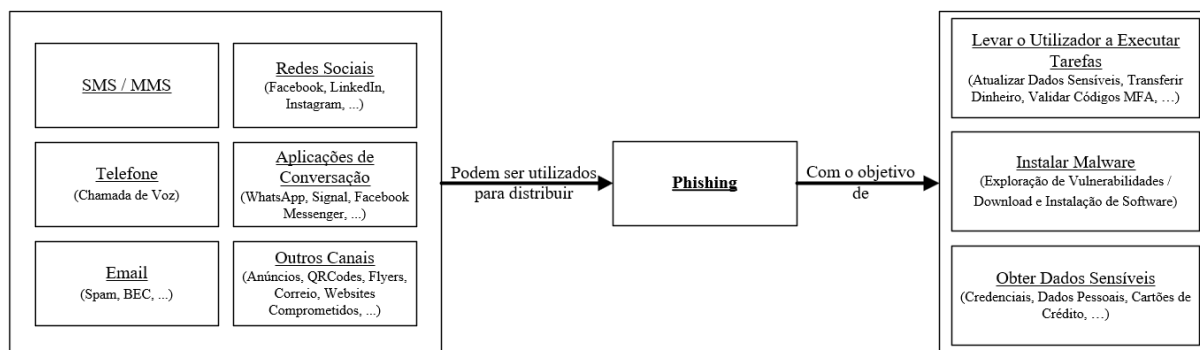


Figura 1 – Canais e Objetivos relacionados com eventos de phishing

de *phishing*, executados em canais distintos e com objetivos táticos específicos, que contribuam para o seu objetivo final (seja ele crime financeiro, roubo de informação, espionagem, ataque de *ransomware*, ...). A plataforma proposta pretende auxiliar na identificação, deteção e automatização da resposta a entidades que sejam utilizadas, ou possam vir a ser utilizadas em ataques de *phishing*, e que tenham como objetivo tático a obtenção de dados sensíveis. A sua arquitetura modular permite o desenvolvimento e integração de sensores que exploram as fontes de dados acessíveis ao utilizador final, de forma a identificar entidades e as adicionar à plataforma.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO

### 2.1. Arquitetura da Plataforma

A Figura 2 detalha a arquitetura alto-nível da plataforma preconizada. Os seus principais módulos consistem em:

- **Sensores** – deteção e adição de entidades à base de dados com recurso a uma API. Estes sensores consistem em sistemas que monitorizam os canais de comunicação apresentados na Figura 1, ou que monitorizam eventos externos, como é o caso do registo de domínios que possuem no seu nome palavras-chave que estejam referenciadas como tendo sido utilizadas pelos adversários em campanhas anteriores;
- **API (Application Programming Interface)** - conjunto de *interfaces* que permite a integração de módulos e de sistemas externos com a plataforma, como é o caso dos sensores de deteção de entidades;
- **Módulo de Recolha e Classificação de Entidades** - aquisição, processamento, classificação, armazenamento e correlação de artefactos associados a cada entidade;
- **Interface de Utilizador (UI)** - interação com o utilizador baseada na apresentação dos artefactos recolhidos, disponibilizando funcionalidades de correlação de artefactos entre entidades de uma forma eficiente e intuitiva;

- **Módulo de Notificações** – envio de notificações por diversos canais - SMS e *email* - quando uma entidade detetada é confirmada como estando ativa, ou quando os artefactos associados à mesma sofrem alterações.

Derivado dos requisitos do utilizador final, a plataforma irá disponibilizar ainda outras funcionalidades relevantes, como é o caso do:

- **Módulo de Proxy** – processamento de todo o tráfego HTTP e HTTPS da plataforma, fazendo com que o mesmo apareça como tendo origem num endereço IP (*Internet Protocol*) associado a uma ligação de Internet doméstica, em oposição a um endereço IP empresarial ou associado a um fornecedor de serviços *cloud*, emulando assim a atividade de um utilizador normal e evitando dependências de sistemas de *proxy* públicos, para os quais o adversário pode ter implementado medidas de decesso;
- **Módulo de Exportação de Dados** – exportação dos artefactos associados a uma entidade, com recurso a protocolos *standard* como é o caso do OASIS STIX - uma linguagem estruturada de *cyber threat intelligence* para a partilha de informação em grupos de confiança (OASIS Open, 2021).

Adicionalmente, o Módulo de Recolha e Classificação de Entidades disponibilizará funcionalidades avançadas de classificação com recurso a metodologias de Inteligência Artificial, como é o caso de Redes Neurais Artificiais (ANN - *Artificial Neural Network*) baseadas em dados (Podder *et al.*, 2021) e de Lógica *Fuzzy* baseada em conhecimento pericial (Chauhan, 2021), ou de outras metodologias que se considerem adequadas.

### 2.2. Inteligência Artificial e Machine Learning na Classificação de Entidades

As metodologias de Inteligência Artificial e de *Machine Learning* (AI/ML) têm conquistado um espaço considerável na área da cibersegurança (Apruzzese *et al.*, 2018). Nesta plataforma, a análise e a classificação da imagem da captura de ecrã

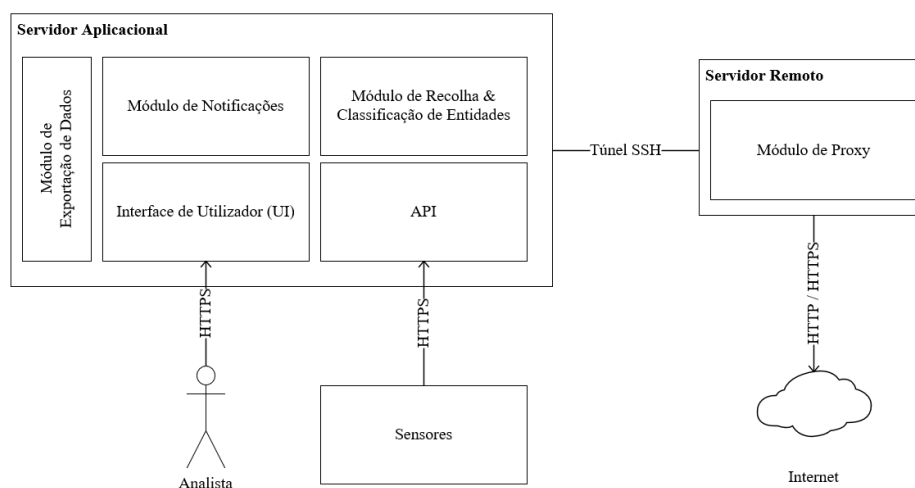


Figura 2 – Arquitetura alto-nível da plataforma

(*screenshot*) da entidade (um dos artefactos recolhidos) será executada com recurso a modelos de ANN, de forma a classificar as entidades existentes e a determinar se estas se encontram ativas (ou seja, se apresentam conteúdo relacionado com um ataque de *phishing*). Já a aplicação de modelos de conhecimento pericial baseado em Lógica *Fuzzy* enriquece os processos de análise e classificação, possibilitando a priorização de entidades com base em outros artefactos recolhidos, como é o caso do endereço IP e da respetiva geolocalização.

A implementação destas metodologias pretende minimizar o tempo entre a deteção de uma entidade como estando no estado ativo e a execução da resposta (CoA – *Course of Action*) pré-estabelecida.

### 2.3. Casos de Uso

Neste artigo são propostos dois casos de uso que detalham como é que a plataforma poderá ser utilizada na resposta a eventos de cibersegurança relacionados com *websites* de *phishing* tanto em ambiente civil como militar. De realçar que independentemente do ambiente em que esta opere, a mesma representa uma mais-valia para as equipas de *Cyber Threat Intelligence* das organizações, uma vez que automatiza a recolha, classificação e correlação de artefactos das entidades detetadas, o que facilita a agregação dos mesmos em grupos de atividade associados a adversários específicos.

No primeiro caso de uso, denominado de Interno, a plataforma tem o objetivo de apoiar o trabalho das equipas de cibersegurança e ciberdefesa das organizações que operam ambientes de SOC. Neste caso de uso preconiza-se que a plataforma seja utilizada de forma a detetar, adquirir, processar, classificar e correlacionar artefactos de entidades que sejam direcionadas aos utilizadores internos da organização. Um exemplo é o de um *website* de *phishing* a simular uma página de autenticação no portal do Microsoft Office 365 e que tenha o objetivo de capturar credenciais dos utilizadores mais

incautos, numa organização que utilize esta plataforma no seu dia-a-dia. O processamento da entidade pela plataforma pode ser executado em simultâneo com a execução do CoA mais apropriado para responder a esta ameaça (por exemplo: o bloqueio do acesso ao *website* aos utilizadores da organização, a injeção de credenciais falsas a fim de monitorizar o comportamento do adversário nos sistemas da organização, ...). Esta plataforma pode ainda ser expandida, com recurso a APIs, para que a mesma possa executar os CoA pré-estabelecidos de forma autónoma aquando da identificação de novas entidades com artefactos análogos.

No segundo caso de uso, denominado de Externo, a plataforma tem o objetivo de apoiar o trabalho das equipas de antifraude e de monitorização de ciberameaças. Neste caso de uso preconiza-se que a plataforma seja utilizada para detetar, adquirir, processar, classificar e correlacionar artefactos de entidades que, usurpando a imagem e marca da organização, se fazem passar por ela, criando entidades de *phishing* utilizadas pelos adversários em campanhas direcionadas a empresas parceiras (aliadas) ou a pessoas dentro do mesmo grupo de confiança, como é o caso de clientes ou fornecedores. Um exemplo aplicado a uma instituição financeira é o da monitorização ativa de *websites* de *phishing* bancário, que visam os clientes da organização e que tenham como objetivo a captura de dados de acesso a plataformas de *homebanking* ou de cartões de crédito. Neste caso de uso a plataforma pode ainda executar os CoA destinados a promover a remoção do *website* abusivo (por exemplo: automatização do envio de uma queixa para o endereço de *abuse* do fornecedor de serviços de Internet que esteja a disponibilizar serviço à entidade, ou integração com um sistema de um fornecedor que preste um serviço desta natureza) e a integração com plataformas que promovam a denuncia de *websites* fraudulentos, como é o caso do Google Safe Browsing (Google, n.d.) que notifica as potenciais vítimas na eventualidade de efetuarem uma tentativa de acesso à entidade.

Ambos os casos de uso têm como objetivo a monitorização de entidades, sejam elas confirmadas (i.e., estando ativamente a ser utilizadas em campanhas ou que já possuam o conteúdo de *phishing*) ou potenciais (i.e., entidades suspeitas que tenham sido detetadas na fase inicial da preparação da campanha e que ainda não tenham sido configuradas pelo adversário). De forma a ser possível aferir a eficiência do CoA executado na resposta à ameaça, a plataforma estabelece ainda uma linha do tempo (*timeline*) para cada entidade. Nesta linha do tempo é registado cronologicamente a deteção da entidade, as alterações nos seus artefactos, bem como o momento da execução do CoA e a desativação da entidade (no caso de entidades classificadas como ativas), ou do seu arquivamento (no caso em que se determina que se trata de um falso positivo).

### 3. CONCLUSÕES E TRABALHO FUTURO

O desenvolvimento desta plataforma e das suas componentes analíticas e de automação para a execução dos CoA pré-definidos, faz parte de um projeto de Dissertação de Mestrado em Guerra da Informação na Academia Militar.

O principal objetivo desta plataforma é o de disponibilizar funcionalidades e automatismos que potenciem, de uma forma eficiente, o tratamento e a análise de grandes conjuntos de dados, para a identificação de ciberameaças (neste caso *phishing*), através da análise de dados complexos e de Inteligência Artificial / *Machine Learning*, apoiando assim as atividades de resposta e o processo de tomada de decisão das equipas de cibersegurança e de ciberdefesa.

Neste trabalho são identificados dois casos de uso que, não obstante terem objetivos díspares, um aplicado à salvaguarda dos interesses de clientes e parceiros da organização, e o outro destinado a proteger os utilizadores internos da própria organização, utilizam a plataforma com a mesma finalidade: detetar, classificar e responder a entidades utilizadas em campanhas de *phishing*, bem como armazenar e correlacionar artefactos que possam ser utilizados pelas equipas de *Cyber Threat Intelligence*, disponibilizando assim mais uma fonte de dados (*collection*) de suporte ao desenvolvimento dos seus produtos, e para a eventual monitorização de grupos de atividade. Preconiza-se que a plataforma a desenvolver seja igualmente útil em ambiente civil e militar, uma vez que os ataques de *phishing* podem ser direcionados a qualquer tipo de organização, ainda que as motivações e os meios dos adversários possam ser díspares.

Desta forma pretende-se melhorar e impactar de uma forma positiva, as atividades das organizações civis e militares e dos seus departamentos, sejam eles SOC, antifraude, informações, planeamento e execução de operações, ou de qualquer outro considerado relevante para a concretização da sua missão e objetivos.

### Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente suportado pelo programa *European Defence Industrial Development Programme* (EDIDP) da Comissão Europeia através do projeto PANDORA – *Cyber Defence Platform for Real-time Threat Hunting, Incident Response and Information Sharing* (EDIDP-CSAMN-SSS-2019-006-PANDORA).

### REFERÊNCIAS

- Apruzzese, G., Colajanni, M., Ferretti, L., Guido, A., & Marchetti, M. (2018). *On the effectiveness of machine and deep learning for cyber security*. 2018 10th International Conference on Cyber Conflict (CyCon), 371–390.
- Centro Nacional de Cibersegurança. (2022). *Relatório Cibersegurança em Portugal - Riscos & Conflitos* (3ª ed.).
- Chauhan, K. (2021). *Fuzzy Approach for Designing Security Framework*. *Artificial Intelligence and Data Mining Approaches in Security Frameworks* (1ª ed., pp. 173–195). Wiley.
- European Union Agency for Cybersecurity. (2021). *ENISA threat landscape 2021: April 2020 to mid July 2021*. Publications Office.
- Google. (n.d.). *Google Safe Browsing*, Acedido em 02 de outubro de 2022, em <https://safebrowsing.google.com/>.
- OASIS Open. (2021). *STIX Version 2.1*. Editado por Bret Jordan, Rich Piazza, & Trey Darley. OASIS Standard. <https://docs.oasis-open.org/cti/stix/v2.1/os/stix-v2.1-os.html>.
- Podder, P., Bharati, S., Mondal, M. R. H., Paul, P. K., & Kose, U. (2021). *Artificial Neural Network for Cybersecurity: A Comprehensive Review*. *Journal of Information Assurance and Security*, 16, 10–23.
- Souppaya, M., & Scarfone, K. (2013). *Guide to Malware Incident Prevention and Handling for Desktops and Laptops (NIST SP 800-83r1; p. NIST SP 800-83r1)*. National Institute of Standards and Technology.
- Strom, B.E., Applebaum, A., Miller, D.P., Nickels, K.C., Pennington, A.G. & Thomas, C.B. (2018). *MITRE ATT&CK: Design and Philosophy*. In Technical report. The MITRE Corporation.
- Vidas, T., Owusu, E., Wang, S., Zeng, C., Cranor, L. F., & Christin, N. (2013). *QRishing: The Susceptibility of Smartphone Users to QR Code Phishing Attacks*. *Financial Cryptography and Data Security* (Vol. 7862, pp. 52–69). Springer Berlin Heidelberg.
- Widup, S., Pinto, A., Hylender, D., Bassett, G., & Langlois, P. (2022). *2022 Data Breach Investigations Report*.

# O PAPEL DAS EXPERIÊNCIAS DE RECUPERAÇÃO NA RELAÇÃO ENTRE FADIGA E COMPORTAMENTOS DE SEGURANÇA: UM ESTUDO NUMA ACADEMIA MILITAR

P. Piedade (1) e S. P. Gonçalves (2)

(1) Centro de Psicologia da Força Aérea, [papiedade@emfa.pt](mailto:papiedade@emfa.pt)

(2) ISCSP – Instituto Superior de Ciências Sociais e Políticas, Universidade de Lisboa.

**Resumo:** As Instituições militares caracterizam-se por contextos de imprevisibilidade inerentes às missões que desempenham, nas quais a segurança é um marco prioritário. A formação dos militares é um processo complexo, que conjuga exigências intelectuais e físicas, que podem resultar em estados de fadiga. No presente estudo, centrado em 245 alunos de uma Instituição de Ensino Superior Militar, procurou-se caracterizar a relação entre diferentes tipos de fadiga com os comportamentos de segurança e, por outro lado, analisar os efeitos de proteção (moderação) das experiências de recuperação. Os resultados principais evidenciam um maior impacto da fadiga física nos alunos do 1.º ano, comparativamente com os restantes cadetes, bem como maiores dificuldades em iniciarem atividades de relaxamento. Por outro lado, as experiências de controlo destes alunos também são, comparativamente, mais restritas. Não foram encontrados efeitos de moderação. Estas constatações poderão contribuir para processos de intervenção futura mais efetivos ao nível do apoio psicológico e da seleção.

**Palavras-chave:** militar, fadiga, comportamentos de segurança, experiência de recuperação

## 1. INTRODUÇÃO

O conceito de fadiga associado às designadas *High-Reliability Organizations* (HRO), organizações que operam em ambientes inerentemente perigosos e que necessitam de uma gestão eficaz da segurança e do risco (Salas e col., 2020), tem vindo a ser debatido na literatura. A relevância deste conceito assenta, em parte, nas consequências nocivas que a fadiga, entendida como cansaço extremo e incapacidade de funcionar durante ou no final do dia de trabalho nos níveis físico, mental e emocional (Frone e Tidwell, 2015) impõe aos sistemas humanos, podendo condicionar a emergência de comportamentos de segurança.

Estes comportamentos traduzem um conjunto de ações desenvolvidas pelos indivíduos no contexto das organizações, visando a saúde e a segurança dos diferentes atores organizacionais (Christian e col., 2009). De acordo com Griffin e Neal (2000), identificam-se dois tipos de comportamentos de segurança: de cumprimento e de participação. Os primeiros têm um impacto direto na segurança, relacionando-se com ações relativas ao cumprimento de regras e procedimentos e traduzem comportamentos expectáveis tendo em conta as responsabilidades do trabalhador (Martínez-Córcoles e Stephanou, 2017). Por outro lado, os

comportamentos de participação associam-se a ações indiretas, frequentemente ligadas à participação voluntária em atividades relacionadas com a segurança (Clarke, 2006).

Simultaneamente, pretende-se explorar o efeito de moderação das experiências de recuperação na relação entre a fadiga e os comportamentos de segurança. Estas definem-se como “experiências durante o tempo de lazer que proporcionam a oportunidade de «desligar» do trabalho” (Sonnetag e col., 2008, p.674) e referem-se à experiência (na perspetiva psicológica) dos indivíduos fora do contexto laboral (Sonnetag e col., 2022). Existem inúmeras circunstâncias que se poderão enquadrar na definição de experiências de recuperação, no entanto, para efeitos do presente estudo, consideraremos apenas a categorização realizada por Sonnetag e Fritz (2007), que distinguem as seguintes experiências: afastamento psicológico, relaxamento, controlo e procura de desafios.

O afastamento psicológico implica a cessação de atividades de natureza ocupacional e um movimento de “desligamento”, de afastamento físico e mental, do contexto e das tarefas profissionais, enquanto o relaxamento se associa a uma sensação de calma face às exigências do trabalho (Bosh, Sonnetag e Pinck, 2018) e a sentimentos de afeto positivo (Sonnetag e col., 2008).

As experiências de controlo referem-se à capacidade de controlar e escolher o que se pretende fazer durante as oportunidades de recuperação, enquanto a procura de desafios se define pelo envolvimento em atividades desafiantes, nas quais o indivíduo tem oportunidade de aprender e fazer algo diferente (Sonnetag e Fritz, 2007).

Tendo em consideração o já referido impacto da fadiga na performance dos indivíduos, pretendeu-se que esta investigação se focasse num âmbito específico, considerando o contexto das HRO, nomeadamente uma Instituição de ensino superior militar. Os militares são, pelas contingências inerentes às suas atividades, um grupo particularmente vulnerável aos efeitos da fadiga, em particular a fadiga de natureza mental ou cognitiva, com afetação do desempenho funcional dos indivíduos (Martin e col., 2020). Por outro lado, e no que respeita ao impacto da fadiga nos alunos, é consensual a importância crítica do sono (e.g Thomas e col., 2017; Lang e col., 2016) como mecanismo “reparador” das exigências, sobretudo cognitivas, impostas aos indivíduos pela atividade académica. No caso particular dos alunos militares (participantes neste estudo), a estas exigências acresce um conjunto de atividades, sobretudo de natureza física (exercício físico específico, desportos individuais e coletivos, exercícios militares, entre outros) que acabam por se conjugar, enfatizando ainda mais a necessidade posterior de recuperação. O objetivo do presente artigo visa caracterizar o tipo de fadiga mais proeminente nos alunos que frequentam a Academia da Força Aérea (AFA), explorando a sua relação com os comportamentos de segurança e analisando o efeito moderador das experiências de recuperação.



Fig.1. Modelo Empírico

## 2. METODOLOGIA

Considerando a complexidade destas variáveis, e centrando-nos num nível de análise individual, participaram no presente estudo 245 alunos que frequentam a AFA, maioritariamente cadetes (66%) do 1.º ano (29%), do curso de piloto-aviador (41%). A maioria dos participantes é do género masculino, com o 12.º de escolaridade completo e com idades compreendidas entre os 21 e os 25 anos. Os dados foram recolhidos durante os meses de maio e junho de 2021.

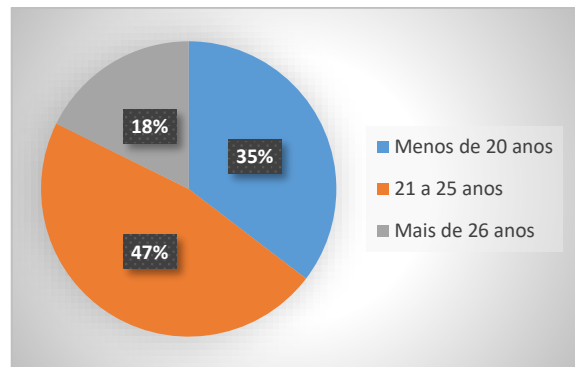


Fig.2. Distribuição etária dos participantes

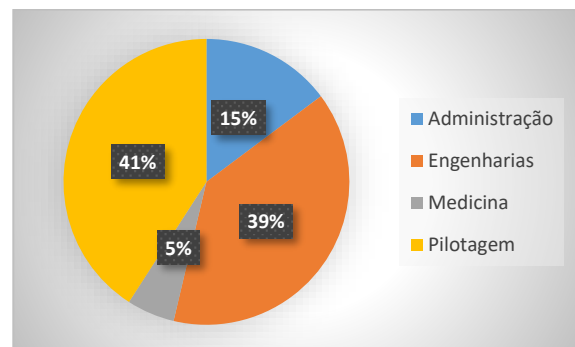


Fig.3. Curso de proveniência dos participantes

Recorrendo-se à plataforma eletrónica Survey Monkey, foi construído um questionário constituído pelos seguintes instrumentos: 3D-WFI de Frone e Tidwell (2015), um inventário que mede três dimensões de fadiga (mental, emocional e física); sete itens desenvolvidos por Neal, Griffin e Hart (2000) para avaliar os comportamentos de segurança de cumprimento (4 itens) e de participação (3 itens); e o questionário de experiências de recuperação (Sonnetag e Fritz, 2007), que inclui as experiências de afastamento psicológico, relaxamento, controlo e procura de desafios.

Questionário	Nº Itens	Fidelidade
<b>Three Dimension Work Fatigue Inventory (3D-WFI)</b> (Frone e Tidwell, 2015)	18	Fadiga emocional (α=.95), Fadiga mental (α=.95) e Fadiga física (α=.94).
<b>Itens de comportamento de segurança de cumprimento (n=4) e de participação (n=3)</b> desenvolvidos por Griffin, Neal & Hart (2000)	7	Comportamento de cumprimento (α=.87) e Comportamento de participação (α=.77).
<b>Recovery Experience Questionnaire</b> (Sonnetag & Fritz, 2007)	16	Afastamento psicológico (α=.84), Relaxamento (α=.85), Procura de desafios (α=.79) e Controlo (α=.85).

Tabela I – Instrumentos utilizados

Paralelamente, foram recolhidos, no mesmo questionário, dados de natureza sociodemográfica que permitiram caracterizar os participantes. O questionário foi disponibilizado aos alunos através de um link para os seus endereços de email institucionais. Prévio ao preenchimento do instrumento, foi disponibilizada informação sobre o estudo e garantida a confidencialidade dos dados recolhidos. O estudo

foi superiormente autorizado pela, à data, estrutura de comando da AFA.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados iniciais apontam a fadiga mental como a mais frequentemente reportada ( $\bar{x}=21,71$ ) face aos restantes tipos de fadiga, verificando-se, igualmente, uma predominância dos comportamentos de segurança de cumprimento ( $\bar{x}=12,29$ ) e das experiências de recuperação de desafio ( $\bar{x}=15,24$ ). Constatou-se que a fadiga, nos seus três tipos constituintes, associa-se, de forma negativa, às experiências de recuperação de relaxamento e de controlo, sendo mais evidente nesta última (cf. Tabela II). Por outro lado, uma análise de variância (ANOVA) com recurso ao teste *post-hoc* de Games-Howell (que assume a não igualdade de variâncias), permitiu identificar diferenças significativas entre os cadetes do 1.º ano da AFA e os restantes alunos no que respeita a fadiga física e as experiências de recuperação de relaxamento e de controlo (embora menos evidentes neste último caso). Os cadetes mais jovens são, assim, mais impactados pela fadiga física e não se caracterizam tanto pela utilização de experiências de recuperação de relaxamento e controlo, comparativamente com os restantes alunos. A fadiga é, aliás, “inibidora” da recuperação, sobretudo ao nível do relaxamento e controlo. Não se observaram diferenças entre alunos com base no seu curso de especialidade.

O impacto da fadiga nos comportamentos de segurança é praticamente inexistente, observando-se, por outro lado, que os comportamentos de cumprimento e participação apresentam relações muito modestas ( $r=.203$ ;  $p\leq 0.01$  e  $r=.342$ ;  $p\leq 0.01$ , respetivamente) em exclusivo com a experiência de recuperação de desafio. No âmbito das experiências de recuperação, o desafio parece ser a estratégia mais utilizada pelos cadetes do 1º ano, podendo isto significar que, por exemplo, o recurso a atividades lúdicas durante as pausas de fim de semana e a prática desportiva poderão estar a contribuir para a recuperação de contextos de pressão. Considerando o modelo apresentado na *fig.1*, não se verificaram efeitos de moderação das experiências de recuperação na relação direta entre a fadiga e os comportamentos de segurança, quer de cumprimento ( $Z(4,240)=1,420$ ;  $p.>0.00$ ), quer de participação ( $Z(4,240)=2,195$ ;  $p.>0.00$ ).

	Fadiga Física	Fadiga Mental	Fadiga Emocional
Experiências de recuperação de afastamento	,038	,063	,000
Experiências de recuperação de relaxamento	-,231**	-,211**	-,236**
Experiências de recuperação de desafio	-,012	-,060	,013
Experiências de recuperação de controlo	-,297**	-,233**	-,295**

Tabela II – Correlações entre experiências de recuperação e fadiga

A fadiga mental parece ser dominante entre a maioria dos alunos, facto que se compreende com base na multiplicidade de solicitações cognitivas, sobretudo de natureza académica. Este tipo de fadiga parece, inclusive, ser explicação para um incremento na fadiga física. Embora evidente nos alunos do 1º ano, a fadiga física não é predominante entre a generalidade dos alunos, mesmo considerando que os participantes são estudantes do ensino superior militar, onde a componente física é transversalmente exigida. Em parte, esta constatação pode ser explicada pelo papel aparentemente protetor que o exercício físico exerce sobre a fadiga, mesmo em sujeitos com diminuta qualidade do sono (Herring e col., 2018). Os comportamentos de segurança de cumprimento (associados à utilização de equipamento protetor e ao seguimento de procedimentos e regras) são mais expressivos (compreensível considerando a cultura deste tipo de organizações no que concerne o estabelecimento objetivo de regras), embora não se verifique uma relação muito saliente entre estes e as experiências de recuperação. No caso das últimas, constata-se que os cadetes tendem, na generalidade, a procurar atividades que lhes permitam desenvolver competências fora do âmbito académico (desafio). Os alunos do 1.º ano tendem, igualmente, a exibir maiores dificuldade “em relaxar” e um menor controlo sobre as suas atividades de lazer, algo que poderá resultar da conjugação da exigência inicial do 1º ano, aliada à menor perceção de controlo sobre as circunstâncias que os rodeiam.

### 4. CONCLUSÃO

As características do contexto de formação superior militar traduzem-se em efeitos de fadiga, sobretudo mental. Contudo, os alunos dispõem de recursos próprios para lidar com essas exigências, garantindo a adaptação gradual ao ambiente que os rodeia, embora no 1.º ano o impacto da fadiga física se faça sentir de forma mais evidente. A relevância menos expressiva dos comportamentos de segurança, identificada nesta amostra poderá ser testada, em estudos posteriores, com participantes de áreas operacionais (p.e pilotos operacionais ou controladores de tráfego aéreo). Finalmente, o conhecimento destas características poderá trazer uma visão mais ampla do contexto académico militar, contribuindo futuramente para a maior eficácia do apoio pedagógico, da formação, mas também da seleção destes alunos.

### Agradecimentos

O autor agradece a prestimosa colaboração da Academia da Força Aérea, em particular ao seu Comandante, ao seu Comandante do Corpo de Alunos e, em especial, aos seus alunos, pela participação e dedicação. Um obrigado especial à Professora Doutora Sónia P. Gonçalves pela

incansável ajuda, incentivo e exemplo de profissionalismo.

## REFERÊNCIAS

- Bosh, C., Sonnentag, S. e Pinck, A. (2018). What makes for a good break? A diary study on recovery experiences during lunch break. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 94, 134-157.
- Christian, M., Wallace, C., Bradley, J. e Burke, M. (2009). Workplace Safety: A Meta-Analysis of the Roles of Person and Situation Factors. *Journal of Applied Psychology*, 94(5), 1103-1127.
- Clarke, S. (2006). The Relationship Between Safety Climate and Safety Performance: A Meta-Analytic Review. *Journal of Occupational Health Psychology*, 11(4), 315-327.
- Frone, M. e Tidwell, M. (2015). The Meaning and Measurement of Work Fatigue: Development and Evaluation of the Three-Dimensional Work Fatigue Inventory (3D-WFI). *Journal of Occupational Health Psychology*, 20(3), 273-288.
- Griffin, M. e Neal, A. (2000). Perceptions of Safety at Work: A framework for linking safety climate to safety performance, knowledge, and motivation. *Journal of Occupational Health Psychology*, 5(3), 347-358.
- Herring, M., Monroe, D., Kline, C., O'Connor, P. e MacDonncha, C. (2018). Sleep quality moderates the association between physical activity frequency and feelings of energy and fatigue in adolescents. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 27, 1425-1432.
- Lang, C., Kalak, N., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., Pühse, U. e Gerber, M. (2016). The relationship between physical activity and sleep from mid adolescence to early adulthood. A systematic review of methodological approaches and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 28, 32-45.
- Martínez-Córcoles, M. e Stephanou, K. (2017). Linking active transactional leadership and safety performance in military operations. *Safety Science*, 96, 93-101.
- Martin, K., Périard, J., Rattray, B. e Pyne, D. (2020). Physiological Factors Which Influence Cognitive Performance in Military Personnel. *Human Factors*, 62, 1, 93-123.
- Neal, A., Griffin, M. e Hart, P. (2000). The Impact of Organizational Climate on Safety Climate and Individual Behavior. *Safety Science*, 34, 99-109.
- Salas, E., Bisbey, T., Traylor, A. e Rosen, M. (2020). Can Teamwork Promote Safety in Organizations? *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 7, 6.1-6.31.
- Sonnentag, S. e Fritz, C. (2007). The Recovery Experience Questionnaire: Development and Validation of a Measure for Assessing Recuperation and Unwinding From Work. *Journal of Occupational Health Psychology*, 12 (3), 204-221.
- Sonnentag, S., Binnewies, C. e Mojza, E. (2008). "Did You Have A Nice Evening?" A Day-Level Study on Recovery Experiences, Sleep, and Affect. *Journal of Applied Psychology*, 93 (3), 674-684.
- Sonnentag, S., Cheng, B. e Parker, S. (2022). Recovery from Work: Advancing the field toward the future. *Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior*, 9, 33-60.
- Thomas, C., McIntosh, C., Lamar, R. e Allen, R. (2017). Sleep deprivation in nursing students: The negative impact for quality and safety. *Journal of Nursing Education and Practice*, 7 (5), 87-93.

## Estudo de caso: O impacto da carga externa no desempenho físico dos militares do Exército Português

J. Alves (1), N. Almeida (2, 4), P. Simões (1, 2, 3), C. Almeida (2), R. Lucena (1, 2, 4)

- (1) Centro de Investigação, Desenvolvimento e Inovação da Academia Militar (CINAMIL), Academia Militar, Instituto Universitário Militar. alves.jcg@exercito.pt.  
(2) Military Readiness Lab (MRLab), Academia Militar.  
(3) Centro de Matemática e Aplicações, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.  
(4) CIPER, Faculdade de Motricidade Humana, Universidade de Lisboa

**Resumo:** Atualmente, a complexidade dos variados teatros de operações, leva à necessidade de uma preparação física elevada e bastante específica dos militares.

Neste sentido, o objetivo desta investigação prende-se com a influência que a carga externa, associada ao equipamento de combate, tem no desempenho físico dos militares. Para tal, o objeto de estudo é constituído por uma amostra de cinco elementos do Regimento de Comandos do Exército Português. Como base para esta investigação, foi feita uma revisão de literatura complementada com a realização de vários testes em laboratório com e sem equipamento.

Este estudo revela-se fundamental no sentido da preparação mais específica dos militares tendo em conta o peso do seu equipamento de combate. Verificou-se, durante desta investigação, que a carga externa diminui para cerca de metade a sua capacidade aeróbia máxima e ainda que a capacidade de saltar vertical e horizontalmente dos militares é reduzida, em cerca de 30%.

**Palavras-chave:** Carga Externa, Desempenho Físico, Militar, Capacidade Aeróbia, Equipamento de Combate.

### 1. INTRODUÇÃO

A complexidade dos diferentes teatros de operações da atualidade implica que haja uma focalização na preparação física e psicológica dos militares que operam neste tipo de condições (Nevin, 2017).

A necessidade de preparação física orientada para a tipologia das operações está ligada ao impacto que a carga externa carregada pelos militares tem no seu desempenho físico. Estes são sujeitos a grandes cargas físicas, não só devido ao peso de todo o equipamento que necessitam carregar, mas também devido às características táticas do próprio campo de batalha. Tendo em consideração esta preparação, consegue-se evitar não só lesões como também aumentar a capacidade de resposta e de combate.

O objetivo desta investigação é caracterizar o impacto que o peso do equipamento tem no desempenho físico dos militares. Neste sentido é fundamental realizar em laboratório um conjunto de testes que visem comparar o desempenho com e sem equipamento. Estes testes contemplam, entre outros, capacidade aeróbia máxima como também a potência muscular.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1. Caracterização da Amostra

Para a realização desta investigação, sendo a população alvo o Exército Português (EP), constituíram a amostra cinco elementos, do sexo masculino que constituem uma equipa de Comandos.

No que respeita à sua caracterização sociodemográfica, apresenta uma média de idades de  $24.40 \pm 3.75$  anos (tendo em consideração que o segundo valor é o desvio padrão), com uma estatura média de  $171.20 \pm 6.23$  cm e com uma média de pesos de  $73.08 \pm 3.66$  Kg.

Os indivíduos utilizaram para a realização de testes em laboratório o seu equipamento e armamento de combate. A percentagem de carga externa destes elementos com todo o equipamento atingiu uma média de  $45.82 \pm 2.23$  % em relação ao seu peso corporal tendo o diferente equipamento carregado por cada um dos militares um peso médio de  $33.46 \pm 2,05$  Kg. A variações no peso do equipamento deve-se às diferentes funções de cada militar dentro da equipa.

#### 2.2. Métodos Estatísticos

Considerou-se para esta investigação o recurso a técnicas de estatística descritivas que, de acordo com Iezzi et al. (2013), visam organizar, resumir e descrever os atributos mais importantes aos dados recolhidos. No que respeita à apresentação de informação de forma gráfica, foram utilizados gráficos de linhas e diagramas de extremos e quartis (*boxplot*) de forma a melhor resumir e apresentar toda a informação obtida.

No âmbito das medidas de localização central, considerou-se o cálculo de médias e medianas enquanto que, nas medidas de localização relativa, são de referir os valores mínimos, máximos e também os quartis. Por outro lado, as medidas de dispersão

aplicadas foram a amplitude amostral, amplitude inter-quartil e o desvio padrão.

### 2.3. Instrumentos de Medição

No decorrer desta investigação, foi necessário recorrer a alguns instrumentos de medição de forma a recolher os dados necessários à investigação.

É importante referir a plataforma de contacto da *Chronojump*, a plataforma para o teste do Y designada *Y Balance Test Kit* e a estação meteorológica *Kestrel 5400FW Fire Weather Meter Pro WBGT*. Foi também utilizada uma fita métrica, apenas para medir o comprimento do Salto a Pés Juntos (SPJ). A plataforma de contacto da *Chronojump* foi utilizada para as medições do Salto de Contramovimento (SCM), consiste numa plataforma onde se executa o salto ligada a um computador onde são registados os dados obtidos. A *Y Balance Test Kit* utilizada para o teste de equilíbrio e agilidade consiste numa plataforma que comporta um sistema em forma de Y servindo apenas para observar diretamente os valores alcançados por cada indivíduo numa escala em centímetros. Foi também utilizada a estação meteorológica *Kestrel 5400FW Fire Weather Meter Pro WBGT* para medir a temperatura e a humidade ambiente em laboratório e que tem uma precisão de  $\pm 2\%$ . Foi ainda utilizado, para o teste da capacidade aeróbia máxima ( $VO_{2Máx}$ ), o analisador PNOË, um “analisador metabólico portátil recém-desenvolvido que foi projetado para medir as trocas gasosas em laboratório e no terreno” (Tsekouras et al., 2019, p.3). Para a sua utilização é necessário primeiramente efetuar uma calibração com o ar ambiente recorrendo à aplicação da PNOË instalada num dispositivo portátil. Este aparelho implica que o indivíduo em estudo use uma máscara devidamente ajustada pois opera num sistema de “*breath-by-breath*” conseguindo medir em simultâneo a concentração e o volume dos gases expirados.

### 2.4. Protocolos Utilizados

No cálculo do  $VO_{2Máx}$  foi criado um protocolo específico para as necessidades desta investigação com base no já testado por Louhevaara et al., (1995).

Este realizou-se numa passadeira de corrida dentro de um espaço fechado à temperatura de  $17,8 \pm 1^\circ C$  e com  $57 \pm 2\%$  de humidade com uma semana de descanso entre os testes com e sem equipamento para que os indivíduos tivessem uma recuperação total não afetando os resultados obtidos. Para obter os valores deste teste de  $VO_{2Máx}$  foi utilizado o analisador PNOË devidamente calibrado e ajustado a cada indivíduo.

O protocolo definido consiste em iniciar o teste com 5 minutos de aquecimento a uma velocidade de 4km/h e sem qualquer inclinação. Após o aquecimento o teste consiste em patamares de 2 minutos iniciando a uma velocidade de 4,5Km/h e a uma inclinação de 2%. A cada patamar aumentou-se

2% a inclinação até atingir os 8% valor que se manteria até ao final da prova e a partir do qual, a cada patamar, se passaria a aumentar a velocidade em 1Km/h. O teste termina aquando da exaustão e desistência do indivíduo, quando a sua frequência cardíaca atinge o valor máximo ou quando o quociente respiratório (QR) atinge ou supera o valor 1. Durante a execução do teste, 30s antes de terminar cada patamar recolhem-se os dados do lactato sanguíneo. Após terminar o teste os indivíduos permanecem na passadeira por mais 6 minutos a uma velocidade de 4Km/h e sem inclinação de modo a proporcionar uma recuperação ativa.

Neste âmbito, para além do teste de  $VO_{2Máx}$ , foram realizados outros testes (com e sem equipamento). Na realização destes testes, todos os indivíduos efetuaram três tentativas contando sempre para efeitos de análise e de estudo o melhor valor obtido.

Foi realizado o SCM onde cada um dos indivíduos efetua o salto na vertical terminando com os pés novamente na plataforma. Também o SPJ foi realizado por todos seguindo a mesma orientação.

Por fim, foi executado o teste do Y visando avaliar os indivíduos em relação ao seu equilíbrio e agilidade.

## 3. RESULTADOS

No âmbito dos testes laboratoriais, quanto ao SCM, os resultados obtidos em relação à altura vertical do salto foram bastante diferentes, comparando os testes sem e com equipamento. Como se pode verificar, na Figura n.º 1, ocorreu uma diminuição da variação dos valores. Quando o mesmo teste foi realizado com o equipamento envergado os valores extremos obtidos no salto vertical em altura são mais próximos, verificando-se uma menor amplitude amostral de resultados em comparação com o teste realizado sem equipamento. Por um lado, sem equipamento o valor médio deste salto vertical foi de  $35.35 \pm 3.83$  cm, a sua mediana foi de 35.76 cm, o seu valor máximo foi 39.04 cm e o mínimo 30.66 cm. Por outro lado, com o equipamento de combate a média foi de  $22.87 \pm 0.84$  cm a sua mediana foi de 22.72 cm, o seu valor máximo foi 24.16 cm e o mínimo 21.97 cm. Desta forma, enquanto que sem equipamento foi de 8.38 cm, com equipamento este valor foi consideravelmente mais baixo sendo de 2.19 cm.

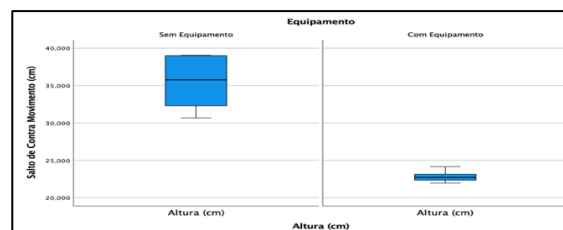


Figura n.º 1 - Altura do SCM Com e Sem Equipamento

Relativamente aos valores do SPJ representados na Figura n.º 2, foi também registada uma amplitude

amostral acentuada aquando da realização do teste com e sem equipamento. Primeiramente, o valor médio obtido na execução sem equipamento de  $227.80 \pm 15.17$  cm, a mediana foi de 230.00 cm e o máximo e mínimo registados foram 250.00 cm e 210.00 cm respetivamente. Por outro lado, com equipamento, a média foi de  $166.60 \pm 12.80$  cm enquanto que a mediana foi de 162.00 cm, o máximo alcançou os 181.00 cm e o mínimo apenas 150 cm. Assim, enquanto na execução sem equipamento os valores tiveram uma variação de 40 cm, com equipamento a variação foi somente 31 cm.

Por outro lado, as variações de resultados obtidos nos testes anteriores realizados com e sem equipamento não se verificaram no teste do Y onde os valores de ambos os testes foram bastante aproximados como podemos observar pelo gráfico da Figura n.º 2.



Figura n.º 2 - Testes Com e Sem Equipamento

Em relação aos testes de  $VO_{2Máx}$  podemos observar na Figura n.º 3, que os indivíduos sem equipamento conseguiram atingir mais quatro patamares no mesmo protocolo. Desta forma, com equipamento, obtiveram apenas cerca de metade do seu valor médio de  $VO_{2Máx}$  atingido no teste executado sem equipamento ( $61.62 \pm 3.00$  mL/Kg/min). Por outro lado, com equipamento, foi mais rapidamente alcançada a exaustão sendo o valor médio de  $VO_{2Máx}$  atingido pelos indivíduos (nos sete patamares superados) de  $34.13 \pm 2.63$  mL/Kg/min.

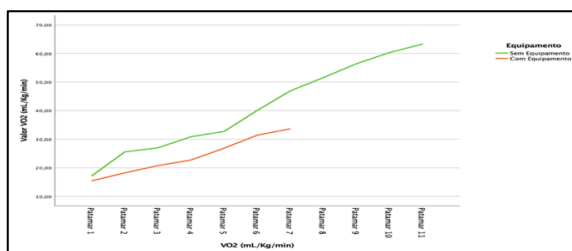


Figura n.º 3 -  $VO_{2Máx}$  Com e Sem Equipamento

É ainda interessante analisar a Figura n.º 4 que representa a comparação do consumo de oxigénio com a frequência respiratória. Foi identificado um maior afastamento entre os valores registados ao longo dos patamares na realização da prova com equipamento onde a frequência respiratória excede sempre o consumo de oxigénio.

Por outro lado, sem o equipamento, é atingido o valor de  $VO_{2Máx}$  antes da exaustão periférica e o consumo de oxigénio supera a frequência respiratória dos indivíduos a partir do quarto patamar.

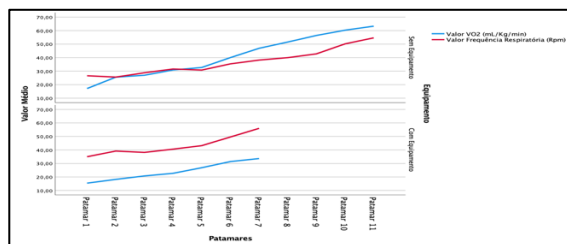


Figura n.º 4 -  $VO_2$  e a Freq. Resp. Com/Sem Equipamento

#### 4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Começando pelo SCM, verificou-se um aumento acentuado dos valores da potência no salto a par de um decréscimo nos valores da altura do salto. Estes resultados provam, à semelhança dos estudos dos autores (Angeltveit et al., 2016; Merrigan et al., 2021), que o aumento do peso associado à carga externa é um fator limitador das capacidades dos militares. Deste modo, a altura atingida com equipamento, passou para quase metade do valor obtido sem equipamento, o que tem grandes implicações de ordem tática (Merrigan et al., 2020). A título exemplificativo, estes resultados mostram que, para saltar um muro, um militar terá de exercer cerca do dobro da sua potência muscular do trem inferior para alcançar apenas metade da altura de salto que conseguiria sem o seu equipamento envergado.

O mesmo se verificou no salto SPJ onde nenhum dos saltos com equipamento chegou aos 2 metros de comprimento enquanto que sem equipamento todos saltaram mais que 2 metros. Assim, apesar dos valores obtidos na realização sem equipamento estarem dentro dos padrões atingidos, por exemplo no estudo realizado por Harman et al. (2008), é de notar o impacto que o peso externo tem sobre a capacidade de SPJ sem balanço dos militares. Mais uma vez, estes valores são importantes para as considerações táticas num cenário real onde pode ser exigido dos militares que efetuem a transposição de uma vala por intermédio de um salto com todo o seu equipamento.

Por outro lado, relativamente ao teste do Y a mesma discrepância não se verificou sendo os valores bastante semelhantes com e sem carga externa. Estes resultados devem-se ao facto destes militares fazerem todo o seu treino operacional com todo o equipamento. Desta forma, o aumento da percentagem de carga externa pouco influenciará o equilíbrio dos militares no terreno, enquanto executam certas tarefas como, por exemplo, dar tiro em terreno irregular, sendo algo bastante positivo a reter do treino operacional aproximado à realidade.

Nos testes de  $VO_{2Máx}$ , é nítido que a carga externa dificulta bastante o desenvolvimento do trabalho aeróbio sendo mais rapidamente atingida a exaustão dos indivíduos. A análise efetuada confirma que, com equipamento, apenas foi atingido metade do  $VO_{2Máx}$  aferido sem equipamento. Desta forma, de acordo

com os padrões definidos por Klusiewicz et al. (2014) e Van der Steeg & Takken (2021), conclui-se que enquanto os indivíduos, na realização dos testes sem equipamento, enquadravam-se na categoria de capacidade aeróbia “média” ou “moderada”, facilmente com equipamento, todos eles passaram a encaixar-se na baixa capacidade aeróbia. Isto mostra que o peso associado ao equipamento de combate origina uma exaustão muscular acentuada que, se não for tida em consideração na preparação física destes militares, pode originar graves repercussões na condução das operações. Por isso, ao estabelecer um padrão mínimo, no que diz respeito ao  $VO_2$ , deverá estar presente o efeito que o equipamento tem de forma a garantir que todos os militares são capazes cumprir as missões atribuídas.

Associado aos testes de  $VO_{2Máx}$ , é importante discutir os valores da frequência respiratória. Como pudemos verificar, esta aumentou, inclusive durante o repouso, com a presença de carga externa. Este facto deve-se à compressão feita pelo colete balístico no peito dos militares que faz com que seja mais difícil expandir tanto a caixa torácica.

## 5. CONCLUSÕES

Considerando os resultados discutidos, é nítido o impacto significativo que o peso do equipamento de combate provoca no desempenho físico dos militares. Esta carga externa chega a reduzir, por vezes, para metade a sua capacidade física de resposta.

De acordo com as diferentes funções dentro da equipa, podemos afirmar que, os militares, para serem projetados para um teatro de operações, deveram estar capacitados a operar, pelo menos, a 59% da sua capacidade aeróbia máxima testada sem equipamento. Por outro lado, os militares devem também, em condições de preparação ideais, estar aptos a saltar vertical e horizontalmente com equipamento, um mínimo de 72% do seu resultado obtido sem envergar equipamento em laboratório.

No que diz respeito à agilidade e equilíbrio, podemos também afirmar que o treino operacional, contemplando o uso de todo o equipamento de combate, se provou como uma mais valia para a estabilização dos valores obtidos sendo bastante positivo.

Em suma, o peso transportado pelos militares em operações tem impacto no desempenho físico dos mesmos. Assim sendo, é extremamente importante otimizar ao máximo a carga transportada tal como, orientar a preparação física destes militares.

### Agradecimentos

**À Academia Militar por todos os conhecimentos transmitidos durante o meu percurso académico.**

### REFERÊNCIAS

#### Artigos em revistas:

Angeltveit, A., Paulsen, G., Solberg, P. A., & Raastad, T. (2016). Validity, Reliability and Performance Determinants of a New Job-Specific Anaerobic Work Capacity Test for the Norwegian Navy Special Operations Command. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(2), 487–496.

Harman, E. A., Gutekunst, D. J., Frykman, P. N., Sharp, M. A., Nindl, B. C., Alemany, J. A., & Mello, R. P. (2008). Prediction of Simulated Battlefield Physical Performance from Field-Expedient Tests. *Military Medicine*, 173(1), 36–41.

Klusiewicz, A., Starczewski, M., Ładyga, M., Długołęcka, B., Braksator, W., Mamcarz, A., & Sitkowski, D. (2014). Reference Values of Maximal Oxygen Uptake for Polish Rowers. *Journal of Human Kinetics*, 44(1), 121–127.

Louhevaara, V., Ilmarinen, R., Griefahn Kfinemund, B. C., & Griefan Kiinemund, B. C. (1995). Maximal Physical Work Performance with European Standard Based Fire-Protective Clothing System and Equipment in Relation to Individual Characteristics. *European Journal of Applied Physiology*, 71(2–3), 223–229.

Merrigan, J. J., Stone, J. D., Ramadan, J., Hagen, J. A., & Thompson, A. G. (2021). Dimensionality Reduction Differentiates Sensitive Force-Time Characteristics from Loaded and Unloaded Conditions Throughout Competitive Military Training. *Sustainability*, 13(11), 1–15.

Merrigan, J. J., Stone, J. D., Thompson, A. G., Guy Hornsby, W., & Hagen, J. A. (2020). Monitoring Neuromuscular Performance in Military Personnel. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(23), 1–26.

Nevin, J. (2017). The tactical athlete: optimizing physical preparedness for the demands of combat. *Professional Strength & Conditioning*, 44, 25–34.

Tsekouras, Y. E., Tambalis, K. D., Sarras, S. E., Antoniou, A. K., Kokkinos, P., & Sidossis, L. S. (2019). Validity and Reliability of the New Portable Metabolic Analyzer PNOE. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1, 1–7.

Van der Steeg, G. E., & Takken, T. (2021). Reference Values for Maximum Oxygen Uptake Relative to Body Mass in Dutch/Flemish Subjects Aged 6–65 Years: The LowLands Fitness Registry. *European Journal of Applied Physiology*, 121(4), 1189–1196.

#### Livros:

Iezzi, G., Hazzan, S., & Degenszajn, D. (2013). *Fundamentos da Matemática Elementar* (Vol. 11).