



## **ACADEMIA MILITAR**

### **Análise ergonómica de tarefas críticas no Combate em Ambiente Urbano**

**Aspirante de Infantaria Marcelo dos Reis Antunes**

Trabalho de Investigação Aplicada

### **Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria**

Orientador: Professora Doutora Ana Raquel Martins d'Assunção (CIPH da FMH/UL)

Coorientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena (Especialista)

#### **Júri**

Presidente do Júri: Professora Auxiliar Helena Isabel Abrantes de Gouveia da Mota Veiga

Arguente: Professor Doutor Bruno Miguel Machado Pedro

Orientador: Professora Doutora Ana Raquel Martins d'Assunção (CIPH da FMH/UL)

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria "Cmd" Roberto Martins Mariano

**junho, 2025**



## **ACADEMIA MILITAR**

### **Análise ergonómica de tarefas críticas no Combate em Ambiente Urbano**

**Aspirante de Infantaria Marcelo dos Reis Antunes**

Trabalho de Investigação Aplicada

### **Mestrado Integrado em Ciências Militares na Especialidade de Infantaria**

Orientador: Professora Doutora Ana Raquel Martins d'Assunção (CIPH da FMH/UL)

Coorientador: Coronel de Cavalaria Rui Jorge Palhoto de Lucena (Especialista)

#### **Júri**

Presidente do Júri: Professora Auxiliar Helena Isabel Abrantes de Gouveia da Mota Veiga

Arguente: Professor Doutor Bruno Miguel Machado Pedro

Orientador: Professora Doutora Ana Raquel Martins d'Assunção (CIPH da FMH/UL)

Diretor de Curso: Tenente-Coronel de Infantaria "Cmd" Roberto Martins Mariano

**junho, 2025**

## EPÍGRAFE

“O treino é a chave para o sucesso e para a vitória. Quanto mais você suar em tempos de paz, menos você sangrará na guerra”.

Gen. George S. Patton

## **DEDICATÓRIA**

Ao meu pai, presença silenciosa e constante nesta jornada.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o reflexo de um percurso exigente, mas profundamente enriquecedor, que só foi possível graças ao apoio, orientação e contributos de várias pessoas e instituições, a quem dirijo um agradecimento sentido.

À Professora Doutora Ana Assunção, minha orientadora, agradeço a confiança depositada, a orientação rigorosa e a disponibilidade constante, sempre acompanhada de um espírito crítico construtivo que guiou cada etapa desta investigação.

Ao Coronel de Cavalaria Rui Lucena, coorientador deste trabalho, agradeço a atenção dedicada, o compromisso com a excelência e os ensinamentos valiosos que ajudaram a moldar o rumo e o conteúdo desta investigação. O seu acompanhamento foi determinante para o rigor e profundidade do estudo desenvolvido.

Ao Professor Nuno Almeida, pela sua prontidão em colaborar, pelas recomendações claras e fundamentadas, e por partilhar, com generosidade, o seu vasto conhecimento, que tanto contribuíram para a qualidade e robustez desta investigação.

Aos docentes do Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional da Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa, deixo um reconhecimento sincero pelo profissionalismo, rigor técnico e apoio permanente na realização do estudo experimental. A vossa dedicação foi essencial para a viabilidade e sucesso deste trabalho.

Aos quatro militares da Brigada de Reação Rápida do Regimento de Infantaria n.º 10, um agradecimento especial pela disponibilidade, empenho e espírito de missão demonstrados na participação no estudo. A vossa colaboração foi imprescindível para a componente prática desta investigação.

Aos camaradas do curso de infantaria, que partilharam comigo desafios, aprendizagens e conquistas, agradeço a camaradagem e o espírito de entreajuda que fizeram parte integrante desta grande caminhada.

Por fim, mas não menos importante, à minha família, que esteve sempre presente ao longo de todo este percurso, expresso um profundo agradecimento pelo apoio incondicional, pela paciência, pelo incentivo constante e pela confiança que sempre me transmitiram. O vosso suporte foi, sem dúvida, um dos pilares fundamentais para a concretização deste objetivo.

A todos, o meu mais sincero e profundo obrigado!

## RESUMO

O Combate em Ambiente Urbano representa, atualmente, um dos maiores desafios operacionais para as forças militares, exigindo elevados níveis de prontidão física e mental. A natureza imprevisível destes cenários, aliada à sua complexidade arquitetónica e à constante presença de civis, impõe exigências significativas ao corpo do combatente, potenciando o risco de Lesões Músculo-Esqueléticas, sobretudo durante a execução de tarefas críticas. Reconhecendo esta realidade, a presente investigação teve como objetivo avaliar os riscos ergonómicos associados às posturas e movimentos adotados pelos militares em contexto de ambiente urbano.

Através de uma abordagem experimental realizada no Centro de Formação e Treino de Combate em Áreas Edificadas, em Mafra, foram simuladas situações operacionais com elevado grau de realismo. Participaram no estudo quatro militares da Brigada de Reação Rápida, submetidos a técnicas de análise biomecânica com recurso a sensores inerciais e ao método *Rapid Entire Body Assessment*. A recolha destes dados permitiu identificar zonas corporais sujeitas a maior carga física e momentos críticos em termos posturais, com destaque para posições forçadas e assimétricas mantidas ao longo de uma missão simulada, com a duração de 120 segundos.

Os resultados demonstram a presença de níveis de risco significativos, especialmente em tarefas que requerem agachamento prolongado, manuseamento de armamento e movimentos táticos. Esta evidência reforça a necessidade de integrar a ergonomia nos processos de treino e planeamento operacional. A aplicação de princípios ergonómicos não só contribui para a redução do risco de lesões, como também potencia o desempenho e a segurança dos militares, aumentando a eficácia em ambientes operacionais exigentes.

Este trabalho enfatiza, assim, que a ergonomia, aliada ao treino físico e à adequação do equipamento, desempenha um papel fundamental na otimização da capacidade de combate dos militares em contexto urbano.

**Palavras-chave:** Ergonomia; Combate em Ambiente Urbano; Carga Física; REBA; Risco de Lesões.

## ABSTRACT

Urban Combat represents one of the greatest current operational challenges for military forces, demanding high levels of physical and mental readiness. The unpredictable nature of these scenarios, combined with their architectural complexity and the constant presence of civilians, imposes significant physical demands on the soldier, increasing the risk of Musculoskeletal Disorders, particularly during the execution of critical tasks. Acknowledging this reality, the present research aimed to assess the ergonomic risks associated with the postures and movements adopted by soldiers in urban combat settings.

Through an experimental approach conducted at the Urban Combat Training Centre in Mafra, operational scenarios were realistically simulated. Four soldiers from the Rapid Reaction Brigade participated in the study and were subjected to biomechanical analysis using inertial sensors and the Rapid Entire Body Assessment method. This data collection enabled the identification of body areas exposed to higher physical load and of postural moments with increased ergonomic risk, particularly during sustained asymmetrical and forced positions throughout a 120-second simulated mission.

The results revealed significant risk levels, especially in tasks involving prolonged squatting, handling of heavy equipment, and rapid movements within confined spaces. These findings underscore the importance of integrating ergonomics into both training and operational planning. The application of ergonomic principles not only contributes to reducing injury risk but also enhances performance and operational safety, thereby increasing effectiveness in demanding environments.

This study therefore emphasizes that ergonomics, combined with physical training and appropriate equipment design, plays a key role in optimizing soldiers' combat capability in urban contexts.

**Keywords:** *Ergonomics; Urban Combat; Physical Load; REBA; Injury Risk.*

## ÍNDICE GERAL

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>PARTE I – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 1 – CAU .....</b>	<b>15</b>
1.1. Definição de CAU .....	15
1.2. Caracterização do Combate em Ambiente Urbano .....	16
1.3. A exigência física do Combate em Ambiente Urbano .....	18
1.4. Definição de Tarefas Críticas em Ambiente Urbano.....	20
1.5. Caracterização do Equipamento Individual em Ambiente Urbano .....	21
1.6. Ergonomia no CAU .....	22
1.7. Estudos Anteriores.....	23
<b>CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DO MOVIMENTO HUMANO .....</b>	<b>24</b>
2.1. Complexo músculo-esquelético.....	24
2.2. Definição de Cinesiologia .....	24
2.2.1. Plano de movimentos .....	25
2.2.2. Caracterização dos movimentos básicos.....	27
<b>CAPÍTULO 3 – LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS.....</b>	<b>28</b>
3.1. Caracterização das lesões músculo-esqueléticas .....	28
3.2. Fatores de risco associados às LMERT.....	29
3.3. LME em ambiente militar.....	30
3.3.1. LME em CAU .....	31
3.4. Programas de prevenção de LME.....	32
<b>CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA DO RISCO MÚSCULO-ESQUELÉTICO .....</b>	<b>33</b>
4.1. Definição de Ergonomia.....	33
4.2. Posturas de trabalho e as LMERT .....	33
4.3. Métodos de avaliação do risco de LMERT .....	35

<b>CAPÍTULO 5 – Importância do Estudo.....</b>	<b>36</b>
5.1. A Importância da Ergonomia na Eficácia Operacional.....	36
<b>PARTE II – ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E TRABALHO DE CAMPO</b>	<b>38</b>
<b>CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS .....</b>	<b>38</b>
6.1. Objetivos e questões de investigação .....	38
6.2. Tipo de estudo, abordagem e método científico.....	39
6.3. Amostra .....	40
6.4. Instrumentos de Medição.....	41
6.5. Métodos de análise de dados .....	42
6.5.1. Análise dos dados cinemáticos.....	42
6.5.2. Avaliação do risco.....	43
<b>CAPÍTULO 7 – RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
7.1. Resultados da Análise Cinemática .....	45
7.2. Resultados da Análise Ergonómica .....	46
<b>CAPÍTULO 8 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
8.1. Análise Ergonómica com Base na Pontuação REBA.....	51
8.2. Análise Ergonómica Aprofundada com Base no Score de Risco Normalizado.....	52
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura n.º 1 – Divisões dos três planos de movimentos .....	26
Figura n.º 2 – Posições iniciais de referência .....	27
Figura n.º 3 – Cálculo das pontuações.....	44
Figura n.º 4 – Níveis de Risco do REBA.....	45
Figura n.º 5 – Níveis do Score de Risco Normalizado .....	49
Figura n.º 6 – Posição dos Sensores Inerciais (IMUs) no Participante .....	II
Figura n.º 7 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Ponta .....	VIII
Figura n.º 8 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra.....	VIII
Figura n.º 9 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Brecha .....	IX
Figura n.º 10 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Apoio Brecha/ Tail Gunner .....	IX
Figura n.º 11 – Croqui do Circuito de CAU .....	X
Figura n.º 12 – Croqui dos Compartimentos a Limpar.....	XI
Figura n.º 13 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Ponta.....	XII
Figura n.º 14 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra.....	XII
Figura n.º 15 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Brecha.....	XIII
Figura n.º 16 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Apoio Brecha/ Tail Gunner .....	XIII
Figura n.º 17 – Folha de Registo do REBA.....	XVI

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela n.º 1 – Objetivos Específicos .....	14
Tabela n.º 2 – Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas .....	39
Tabela n.º 3 – Caracterização da Amostra .....	41
Tabela n.º 4 – Sequência de tarefas realizadas, divididas por tempo de execução.....	46
Tabela n.º 5 – Scores REBA dos quatro militares pertencentes à equipa.....	47
Tabela n.º 6 – Níveis do Score de Risco Normalizado por tarefa .....	50
Tabela n.º 7 – Peso do Armamento e Equipamento de Combate .....	I
Tabela n.º 8 – Imagens Representativas das Tarefas realizadas pelos militares.....	VII
Tabela n.º 9 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Ponta (Método REBA).....	XIV
Tabela n.º 10 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra (Método REBA) .....	XIV
Tabela n.º 11 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Brecha (Método REBA).....	XV
Tabela n.º 12 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Apoio Brecha/ Tail Gunner (Método REBA).....	XV

## LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – ARMAMENTO E EQUIPAMENTO.....	I
APÊNDICE B – DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES INERCIAIS (IMUS) .....	II
APÊNDICE C – CONSENTIMENTO INFORMADO.....	III
APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS.....	VII
APÊNDICE E – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS NÍVEIS DE RISCO ERGONÓMICO.....	VIII
APÊNDICE F – CIRCUITO DE CAU.....	X
APÊNDICE G – RISCO ERGONÓMICO NA EXECUÇÃO DAS TAREFAS CRÍTICAS .....	XII
APÊNDICE H – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO ERGONÓMICA POR MEMBRO CORPORAL COM O MÉTODO REBA.....	XIV

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A – FOLHA DE REGISTO DO REBA.....	XVI
---	-----

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

**AU** – Ambiente Urbano

**CAU** – Combate em Ambiente Urbano

**CFTCAE** – Centro de Formação e Treino de Combate em Áreas Edificadas

**EA** – Escola das Armas

**IGAS** – Inspeção Geral das Atividades em Saúde

**IMUs** – Inertial Measurement Units (Unidades de Medição Inercial)

**LME** – Lesões Músculo-Esqueléticas

**LMERT** – Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho

**NEP** – Norma de Execução Permanente

**OE** – Objetivos Específicos

**OG** – Objetivo Geral

**PD** – Perguntas Derivadas

**QC** – Questão Central

**REBA** – *Rapid Entire Body Assessment*

**RI10** – Regimento de Infantaria n.º 10

**TC** – Tarefas Críticas

**TIA** – Trabalho de Investigação Aplicada

**TO** – Teatros de Operações

## INTRODUÇÃO

O presente Trabalho de Investigação Aplicada (TIA) insere-se no domínio da Motricidade Humana, integra o plano curricular do Mestrado Integrado em Ciências Militares, na especialidade de Infantaria e tem como tema central análise ergonómica de tarefas críticas no Combate em Ambiente Urbano (CAU). O foco principal deste estudo é a análise ergonómica de Tarefas Críticas (TC) desempenhadas por militares no contexto de CAU. Este tipo de cenário operacional, cada vez mais recorrente nas missões, apresenta elevadas exigências físicas e cognitivas, devido à sua complexidade estrutural e imprevisibilidade. A crescente urbanização dos Teatros de Operações (TO) reforça a pertinência do estudo, que visa identificar fatores de risco com vista à redução de lesões e melhoria do desempenho operacional.

O CAU caracteriza-se pela presença de edifícios densos, obstáculos imprevisíveis e a presença de civis, exigindo aos militares uma constante adaptação, tomada de decisão rápida e grande esforço físico (Lampton, Clark & Knerr, 2003). A execução de TC nestas condições requer não apenas um nível elevado de aptidão física, mas também uma preparação mental adequada. A ergonomia, enquanto área científica que visa ajustar o trabalho às capacidades e limitações humanas, torna-se essencial no apoio à segurança e eficácia dos operacionais.

As lesões músculo-esqueléticas (LME) continuam a constituir uma das principais causas de redução da capacidade operacional nas Forças Armadas (Bullock et al., 2010). Além do impacto direto na prontidão física, estas lesões afetam negativamente a moral, implicam custos elevados e podem originar afastamentos prolongados da atividade (Van Tiggelen et al., 2008). No âmbito profissional, estas lesões são designadas por lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho (LMERT), associadas a movimentos repetitivos, adoção de posturas extremas durante longos períodos (Uva et al., 2008).

A prevenção deste tipo de lesões deve começar pela identificação dos fatores de risco (Jones et al., 2000). A avaliação ergonómica, nesse sentido, constitui uma ferramenta crucial na gestão da saúde ocupacional, permitindo detetar condições que favorecem a ocorrência de lesões e propor medidas (Grooten & Elin, 2018).

Os métodos desenvolvidos para avaliar a exposição a fatores biomecânicos têm um papel central. O método REBA (Rapid Entire Body Assessment), por exemplo, tem demonstrado utilidade na quantificação dos riscos associados a posturas, movimentos e cargas (David, 2005). A sua aplicação permite uma análise sistemática das tarefas realizadas

pelos militares, contribuindo para a identificação das mais críticas e daquelas que requerem intervenção prioritária.

Neste trabalho, adota-se uma abordagem quantitativa, utilizando instrumentos de medição específicos para recolher dados sobre movimentos, forças e posturas. O objetivo é fornecer uma base sólida para recomendações futuras que promovam ambientes operacionais mais seguros e sustentáveis.

A presente investigação tem como objetivo geral (OG) analisar os fatores de risco biomecânicos em tarefas críticas no Combate em Ambiente Urbano. De forma a atingir este propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos (OE), presentes na Tabela n.º1.

**Tabela n.º 1 – Objetivos Específicos**

<b>OE1 - Identificar as principais tarefas críticas realizadas no CAU.</b>
<b>OE2 - Analisar as posturas adotadas em tarefas críticas no CAU.</b>
<b>OE3 - Analisar os movimentos realizados em tarefas críticas no CAU.</b>
<b>OE4 - Avaliar a carga física exigida na realização de tarefas críticas.</b>

**Fonte: Elaboração própria**

Assim, a questão central (QC) que orienta este estudo é “Quais as exigências físicas das tarefas críticas no Combate em Ambiente Urbano?”.

Este TIA está conforme a Norma de Execução Permanente (NEP) 522/2.<sup>a</sup> publicada pela Academia Militar em 24 de junho de 2024, e encontra-se dividido em duas partes fundamentais. A primeira parte corresponde ao enquadramento teórico e inclui cinco capítulos: (1) CAU, (2) Análise do Movimento Humano, (3) Lesões Músculo-Esqueléticas, (4) Avaliação Ergonómica do Risco Músculo-Esquelético, e (5) Importância do estudo. A segunda parte do trabalho refere-se à componente prática e metodológica e inclui três capítulos: (6) Metodologia, Métodos e Materiais, (7) Resultados, e (8) Discussão. Por fim, são apresentadas as Conclusões e Recomendações, seguidas das Referências Bibliográficas. E, ainda, os Apêndices e Anexos.

# PARTE I – REVISÃO DE LITERATURA

## CAPÍTULO 1 – CAU

### 1.1. Definição de CAU

Desde os primórdios da civilização que o combater em Ambiente Urbano (AU) se apresenta como uma realidade inevitável na arte da guerra. Com o crescimento acelerado das zonas urbanas e o aumento significativo da densidade populacional global, o paradigma dos conflitos armados sofreu uma mudança profunda no século XXI, passando a centrar-se, cada vez mais, em ambientes densamente edificados (King, 2016). Esta mudança obrigou as forças armadas a reformular doutrinas e a desenvolver conceitos específicos que orientem a sua atuação nestes teatros operacionais (Estado Maior do Exército [EME], 2011).

Já em 500 a.C., Sun Tzu advertia sobre os perigos de atacar cidades fortificadas, considerando esta uma das estratégias mais desvantajosas para qualquer nação. No entanto, a história demonstra que tais combates têm sido inevitáveis, desde o cerco de Troia, passando pelas campanhas medievais e culminando em batalhas icônicas como Berlim ou Estalinegrado (EME, 2011). Apesar do esforço das forças armadas para evitar confrontos urbanos, motivado pelos elevados níveis de letalidade, custos logísticos e resultados frequentemente inconclusivos (Vautravers, 2010), a realidade das últimas décadas evidencia uma crescente necessidade de atuação em ambiente urbano, o que despertou a atenção de investigadores e instituições como a NATO (North Atlantic Treaty Organization [NATO], 2015).

O CAU é, reconhecidamente, um dos contextos operacionais mais exigentes, não apenas pelas ameaças permanentes e letais, mas também pela complexidade tridimensional do terreno. Este tipo de cenário exige dos militares uma conjugação apurada de capacidades cognitivas, técnicas e físicas. A presença constante de civis obriga à implementação rigorosa de regras de empenhamento, ao passo que as operações exigem decisões rápidas e precisas, que minimizem os danos colaterais (Lampton et al., 2003).

A própria arquitetura das cidades modernas, com túneis, sistemas de esgotos, passagens subterrâneas e edifícios de múltiplos andares, amplia o campo de batalha em todas as direções, tornando imprescindível a preparação para atuar em níveis sobrepostos (Kilcullen, 2013).

Paralelamente, o uso crescente de tecnologias digitais em ambiente urbano, como sensores, redes 5G, videovigilância e sistemas de informação automatizados, cria oportunidades e ameaças. As operações militares devem hoje integrar competências de ciberdefesa e gestão da informação, pois a manipulação mediática e a desinformação são utilizadas como armas estratégicas no teatro de operações urbano (NATO Parliamentary Assembly, 2020).

Face a estas realidades, a formação e treino das forças militares devem ser cuidadosamente adaptados à especificidade do CAU. As restrições ao apoio de fogos, a limitação da mobilidade de blindados, o risco de isolamento de unidades, a necessidade de apoio humanitário e a constante proximidade da população civil impõem um conjunto de requisitos operacionais que diferem substancialmente dos teatros de combate convencionais (EME, 2011). Assim, a atuação eficaz em ambiente urbano requer não apenas força física e disciplina tática, mas também um conhecimento profundo do espaço urbano, capacidades técnicas específicas e uma abordagem multidisciplinar, capaz de integrar tecnologia, ergonomia e doutrina operacional.

## **1.2. Caracterização do Combate em Ambiente Urbano**

As áreas urbanas representam, em contexto operacional, uma complexidade significativamente superior àquela que aparentam à primeira análise. A densa rede de ruas, edifícios altos com múltiplas entradas e janelas, sistemas subterrâneos e a mobilidade de milhões de veículos e civis tornam este ambiente tridimensional extremamente desafiante para a manobra militar. A atuação neste espaço exige que as forças armadas adotem um conjunto rigoroso de regras de empenhamento, o que se traduz num acréscimo substancial de stress nos militares e eleva a complexidade do planeamento e da tomada de decisões em tempo real (Medby & Glenn, 2002).

De acordo com o U.S. Army e o U.S. Marine Corps (HDA & Marine Corps, 2022), o ambiente urbano é caracterizado essencialmente pela sua densidade física, populacional e estrutural, resultado direto da ação humana sobre o território. Esta concentração de variáveis gera uma complexidade operacional exponencial. Entre os fatores centrais que agravam esta complexidade, destaca-se a população civil, elemento que, além de aumentar a densidade física do ambiente, introduz condicionantes de natureza legal, ética e política à ação militar.

A presença da população civil, na sua maioria não favorável à intervenção externa, condiciona a liberdade de ação das forças em operações ofensivas, defensivas ou de

estabilização. Neste sentido, foi desenvolvida a doutrina das “considerações de natureza civil”, que inclui variáveis como áreas, estruturas, capacidades, organizações, população e eventos (ASCOPE), as quais servem de base para o planeamento tático e estratégico em ambiente urbano. Estas devem ser analisadas em conjunto com os restantes fatores operacionais, nomeadamente o inimigo, o terreno, os meios disponíveis, o tempo e as dinâmicas civis, para garantir uma atuação eficaz e ajustada à realidade do terreno (HDA & Marine Corps, 2022).

Um elemento que assume crescente importância no contexto urbano moderno é o papel das tecnologias da informação, comunicação e redes sociais. Estas plataformas, quando utilizadas por forças hostis, podem funcionar como autênticos multiplicadores de força, influenciando perceções e moldando a opinião pública local e internacional, muitas vezes contra os objetivos das forças de intervenção (HDA & Marine Corps, 2022). Este fenómeno de guerra informacional transforma o espaço virtual num novo domínio de conflito, no qual as operações psicológicas, a desinformação e o controlo da narrativa se tornam tão relevantes quanto o controlo físico do terreno (Kilcullen, 2013).

Neste enquadramento, o papel do comandante assume contornos especialmente exigentes. Para responder eficazmente às variáveis do AU, o planeamento deve ser claro, conciso e orientado por objetivos tangíveis. A simplicidade no planeamento operacional, embora contraintuitiva perante um ambiente caótico, é uma necessidade vital que permite respostas mais rápidas e coordenadas. O controlo rigoroso das operações torna-se igualmente imprescindível, implicando uma coordenação detalhada das forças, da sinalética e das zonas de atuação. Um dos princípios fundamentais no CAU é o ímpeto: manter a iniciativa sobre o inimigo através do choque e da velocidade, aproveitando o momento decisivo para obter vantagem no combate urbano, frequentemente imprevisível e de curta distância (EME, 2011).

A importância dos fogos de apoio não pode ser subestimada no planeamento urbano. Apesar das limitações impostas pela presença de civis e infraestruturas críticas, é essencial integrar, sempre que possível, os fogos diretos e indiretos de forma coordenada e discriminada. A NATO (2020) destaca que a destruição seletiva e cirúrgica é preferida à aniquilação massiva, sendo que a precisão nos fogos e o conhecimento do ambiente humano são fundamentais para o sucesso.

### **1.3. A exigência física do Combate em Ambiente Urbano**

O CAU obriga a que os militares obedeçam a um conjunto de condições físicas e, ainda, psicológicas. A realização de tarefas críticas em áreas urbanizadas solicita força, resistência, agilidade e habilidade para uma correta tomada de decisões sob pressão e de forma rápida. Para além disso, o movimento em espaços apertados, a superação de obstáculos e o transporte de equipamentos pesados são algumas das tarefas que intensificam as exigências do CAU.

O exercício das tarefas militares exige, para além de competências técnicas apuradas, um nível de exigência física elevado, que se torna determinante para a eficácia operacional. Assim, a capacidade física do militar deve permitir não só a execução eficaz dessas tarefas, mas também a sua sustentação ao longo do tempo, assegurando um desempenho estável e duradouro (Larsson et al., 2020). No atual panorama dos teatros de operações, observa-se uma intensificação de cenários em AU, onde as exigências impostas ao corpo do combatente diferem substancialmente das do combate convencional. No CAU, a assimetria do conflito, a constante imprevisibilidade do inimigo e a variabilidade do terreno exigem respostas rápidas, agilidade e elevada resistência física. Ao contrário do combate tradicional, onde o terreno e o adversário estão mais claramente definidos, o AU impõe-se como um espaço em permanente transformação, onde a adaptabilidade se torna uma competência essencial (Suárez & Pérez, 2013).

Segundo Knapik et al. (2004) os militares que participam em operações em ambiente urbano enfrentam frequentemente grandes níveis de stress físico e mental, afetando-os negativamente no seu desempenho e qualidade de vida.

Conforme salientado por Nevin (2017), a realidade operacional contemporânea impõe sobre os militares níveis elevados de exigência física e psicológica. A prontidão física, neste contexto, transforma-se num multiplicador de força, refletindo-se tanto na performance individual como na eficácia coletiva das missões. Para o soldado de Infantaria, cuja missão implica frequentemente contacto direto e contínuo com o inimigo, é essencial um regime de treino físico comparável ao de atletas de elite, preparado para responder de forma eficiente aos desafios de intensidade e duração variável do campo de batalha.

De acordo com Nindl et al. (2013) o treino específico para ambientes urbanos pode preparar melhor os militares para essas mesmas exigências, o que reduz o risco de lesões e melhora o desempenho em situações reais de combate.

Deste modo, os militares devem ser fisicamente bons para transpor os obstáculos o mais rapidamente possível, fundamental para a sua segurança e eficácia. A prontidão física impacta diretamente a postura técnica e a rapidez na execução de tarefas críticas, aspectos que são essenciais para a eficácia e segurança das operações (EME, 2011)

Entre as tarefas de maior exigência física destacam-se a evacuação de feridos e os deslocamentos táticos em AU. Estas deslocações podem assumir diferentes formas, como marcha administrativa, progressão a pé, rastejar ventral colado ou não colado ao solo, e os sprints entre máscaras, sendo quase sempre realizadas sob diferentes graus de ameaça. Estas exigências ocorrem frequentemente em simultâneo com outras, como a execução do tiro, tornando evidente a influência direta da condição física na capacidade de combate (Blount et al., 2013).

A avaliação da carga física proporcionada pelas TC no CAU é uma componente importante para a compreensão das exigências físicas dos militares. Logo, essa análise pode auxiliar na avaliação das exigências ao longo das operações de combate, contribuindo para o desenvolvimento de treinos mais seguros e eficazes (Larsson et al., 2023).

O transporte de cargas e o manuseamento de equipamento operacional são outros desafios relevantes em CAU, sendo associados a movimentos como empurrar, puxar, arrastar, levantar e deslocar objetos sob tensão. Vaara et al. (2022) identificam essas tarefas como fontes significativas de desgaste físico, sobretudo quando repetidas sob esforço máximo, elevando o risco de lesão.

Do ponto de vista fisiológico, verifica-se que o CAU exige velocidades de deslocamento superiores em comparação com o combate convencional. Nestes cenários, os movimentos são curtos, intensos e intercalados com momentos de deslocamento controlado. Já em ambiente convencional, o padrão de movimentação tende a ser contínuo, com menor intensidade e maior previsibilidade. Adicionalmente, a necessidade de se manter em posturas de cota reduzida, como a de patrulha, implica um esforço constante para minimizar a exposição ao inimigo (Suárez & Pérez, 2013).

Dada a natureza do combate urbano, atributos como a velocidade de reação, a coordenação motora, a força explosiva e a capacidade de aceleração e desaceleração tornam-se determinantes. Por contraste, no combate tradicional, o foco recai mais sobre a resistência de longa duração e a manutenção do ritmo constante. Alves (2022) e Santos (2021) identificam entre as tarefas críticas mais recorrentes no CAU a marcha rápida com equipamento, o arrombamento de portas, arraste de feridos e a limpeza de compartimentos.

Pela sua frequência e intensidade, estas tarefas confirmam a elevada exigência física inerente às operações urbanas.

#### **1.4. Definição de Tarefas Críticas em Ambiente Urbano**

Em teatros de operações urbanas, de elevada complexidade e volatilidade, algumas tarefas destacam-se pela sua importância decisiva no cumprimento eficaz e seguro da missão. Estas são designadas tarefas críticas, cuja correta execução pode determinar o sucesso ou insucesso da operação (Stein et al., 2021). De acordo com Tipton et al. (2013), qualquer tarefa que, se executada de forma deficiente, representa risco para o próprio militar e para a sua equipa, deve ser considerada crítica. Por essa razão, uma vez identificadas, estas tarefas devem ser objeto de treino contínuo, reavaliação periódica e adaptação às constantes alterações do ambiente operacional (Stein et al., 2021).

A Escola Prática de Infantaria (EPI, 1993) define tarefa crítica como uma tarefa coletiva, desempenhada ao nível de secção ou pelotão, cuja execução é vital para o êxito em combate. Este carácter coletivo da ação e a sua relação direta com a eficácia da unidade. Assim, estas tarefas assumem uma posição central no treino operacional, exigindo prática intensiva e repetida até que a execução se torne automática (EPI, 1993).

A complexidade crescente, evidencia que eficácia na realização das TC está também intrinsecamente ligada à qualidade da liderança. A capacidade de comando, tanto a nível organizacional como operacional, é essencial para coordenar eventos simultâneos em ambiente urbano (Wong et al., 2003). Neste contexto, a formação de líderes capazes de atuar sob pressão, tomar decisões rápidas e eficazes e adaptar-se a variáveis externas tornou-se prioritária. Como afirmam Wong et al. (2003), o próprio ambiente de combate influencia o estilo e eficácia da liderança, exigindo capacidades cognitivas e comportamentais superiores.

Para garantir eficácia na execução das TC, torna-se essencial que o treino físico e técnico dos militares esteja alinhado com as exigências reais do ambiente tático e com as estruturas de comando existentes. Wong et al. (2003) enfatizam que o desempenho eficiente nestas tarefas está fortemente dependente da liderança no terreno. Semeraro et al. (2015) complementam, referindo que a capacidade de liderança em ambientes ruidosos, com elevado stress e disrupção sensorial, é uma competência indispensável para os comandantes.

A simulação realista de cenários de combate tem ganho relevância como método de treino eficaz. Embora envolva recursos humanos, materiais e financeiros consideráveis, os

exercícios simulados são fundamentais para aumentar a prontidão dos militares para o Combate em Ambiente Urbano (Foulis et al., 2017).

Em conclusão, as TC desempenham um papel central na doutrina, treino e operação em AU. A sua correta identificação, atualização constante, treino rigoroso e integração com uma liderança eficaz são condições essenciais para o sucesso das missões e a segurança dos militares envolvidos. A sua relevância estende-se dos mais altos escalões até aos mais baixos, tornando-se um elemento transversal à eficácia operacional em contexto urbano.

### **1.5. Caracterização do Equipamento Individual em Ambiente Urbano**

O transporte de carga externa assume uma importância decisiva para a eficácia e segurança das operações militares em AU. De acordo com Boffey et al. (2019), o peso do equipamento tem vindo a aumentar de forma progressiva, consequência direta da necessidade de maior proteção individual e de insucessos anteriores resultantes de falhas na gestão e na qualidade do material identificadas em operações anteriores

Se recuarmos ao longo dos últimos três milénios, verifica-se que os soldados apeados transportavam, em média, cerca de 25 kg de equipamento. Contudo, nos últimos dois séculos, esse valor duplicou. Durante os conflitos no Iraque e no Afeganistão, por exemplo, foi comum registar-se um transporte médio de aproximadamente 50 kg por militar (Fish & Scharre, 2018). Complementarmente, Jia-Yong et al. (2020) apontam que, em missões de maior duração ou em altitude elevada, a carga podia atingir os 68 kg.

Neste cenário urbano, os desafios são mais complexos devido às características deste combate, nomeadamente os espaços confinados, os movimentos rápidos e o constante perigo de confrontos próximos. Deste modo, a adequada utilização dos equipamentos confere uma vantagem significativa, facilitando-os na sua mobilidade, melhorando a proteção e reduzindo a carga física sobre os combatentes (Holowka, Kiesel, & Ringleb, 2016). Além disso, o papel do equipamento individual ultrapassa a simples função de transporte. Ele constitui um fator vital para a proteção e para a capacidade de combate. Espera-se que os militares, quer em treino, quer em ambiente real de combate, mantenham níveis elevados de performance física mesmo sob cargas significativas (Mala et al., 2015).

Billing et al. (2015) distinguem dois conceitos fundamentais para a sobrevivência no campo de batalha: a suscetibilidade, ou seja, a probabilidade de ser atingido quando exposto, e a vulnerabilidade, entendida como o impacto de ser efetivamente atingido. A proteção individual (capacetes, coletes balísticos) reduz a vulnerabilidade, mas pode comprometer a

mobilidade e, por consequência, aumentar a suscetibilidade. O desafio está, assim, em encontrar um equilíbrio entre proteção e manobrabilidade.

Em Portugal, um estudo realizado por Santos (2021), com base na triangulação de dados recolhidos junto das Forças Nacionais Destacadas (7.<sup>a</sup> e 8.<sup>a</sup> FND) na República Centro-Africana, fornece uma visão detalhada do equipamento individual utilizado. Os militares transportavam cargas totais entre 25 kg e 35 kg, acrescidas da mochila de assalto (10 a 20 kg), consoante a missão. O conjunto incluía armamento individual e coletivo, material de proteção e elementos logísticos essenciais à operação.

## **1.6. Ergonomia no CAU**

No CAU a ergonomia procura analisar as posturas, movimentos e forças aplicadas pelos militares na execução de tarefas críticas. Um estudo realizado por Holowka, Kiesel, e Ringleb (2016) mostra que a carga física associada a operações urbanas pode ser claramente reduzida através de melhorias tanto no equipamento como na formação dos militares. Assim sendo, essas melhorias promovem uma melhor eficiência no desenrolar das operações, bem como, a redução dos riscos de lesões, que frequentemente são contraídas em ambientes de alta intensidade física. Então, uma distribuição adequada da carga é fundamental para que os militares mantenham um bom nível operacional e diminuir a exposição às lesões, já que uma sobrecarga poderá levar à fadiga e à diminuição da mobilidade, o que irá comprometer o sucesso da missão (Bryant, Tharion, & Leggieri, 2015).

Para uma eficaz análise ergonómica no CAU, é necessário a utilização de métodos quantitativos para a medição dos movimentos e forças aplicadas na execução das tarefas críticas. Daí o uso de sensores inerciais e os sistemas de captura de movimento, normalmente já utilizados para a recolha de dados a militares (Pedro et al., 2024).

De acordo com Li e Buckle (1999) destacam a importância de uma análise ergonómica abrangente para a identificação de fatores de risco e a proposição de melhorias nas práticas e equipamentos utilizados em operações em ambiente urbano.

Estudos mostram que a análise das posturas e movimentos no decorrer do CAU é vital para a compreensão dos pontos fulcrais na melhoria da execução de TC. As posturas e a reação muscular em cenários de combate são fatores críticos para a eficácia e segurança dos militares (Lampton et al., 2003). O uso de sensores inerciais fornecem dados concisos acerca das posições do corpo, proporcionando uma análise detalhada dos movimentos (Larsson et al., 2023).

## 1.7. Estudos Anteriores

Variados estudos têm contribuído bastante para compreender as exigências físicas no combate em áreas edificadas, assim como, para uma melhor identificação de estratégias com o intuito de desenvolver o desempenho e a segurança dos militares associados. Por exemplo, Larsson et al. (2023) realizaram uma investigação detalhada sobre as exigências fisiológicas e características do movimento durante simulações em Combate em Áreas Edificadas. Os resultados indicam que a análise ergonómica pode revelar informações valiosas sobre a melhor forma otimizar a eficiência operacional e a redução do risco de lesões associadas.

Além disso, um outro estudo é o de Friedl (2018), que discute a aplicação de monitoramento fisiológico para melhorar a preparação dos militares em ambientes operacionais, enfatizando que a monitorização contínua dos sinais vitais e indicadores de stress pode proporcionar dados determinantes para regular o treino e as estratégias operacionais, de forma que os militares se preparem melhor para os desafios do CAU.

Para além da pesquisa de Lampton et al. (2003) sobre o impacto das condições extremas do CAU ressaltando a relevância de uma abordagem multidisciplinar para a análise ergonómica. Os autores argumentam que a integração de conhecimentos de fisiologia, biomecânica e psicologia é fundamental para aprimorar soluções ergonómicas eficientes que possibilitem otimizar desempenho e aumentar a segurança dos militares.

No contexto nacional, merece destaque o trabalho desenvolvido por Damião (2023), o qual incidiu sobre a identificação de fatores de risco de lesões músculo-esqueléticas na guarnição do Carro de Combate Leopard 2 A6. A autora recorreu a uma análise cinemática associada ao método REBA, permitindo detetar posturas críticas com níveis elevados de risco ergonómico. O estudo demonstrou que, apesar da boa perceção dos militares relativamente às exigências físicas das suas funções, algumas tarefas operacionais continuam a representar um risco elevado de lesão. Estes resultados sublinham a urgência na implementação de estratégias de mitigação de risco, especificamente desenhadas para o contexto funcional e operacional das Forças Armadas Portuguesas.

## **CAPÍTULO 2 – ANÁLISE DO MOVIMENTO HUMANO**

### **2.1. Complexo músculo-esquelético**

Na interação do corpo humano com o ambiente, a estrutura óssea fornece o suporte fundamental, mas é através da ação dos músculos, sob o controle do sistema nervoso que se processa asseguram a estabilidade e o controle das forças envolvidas, (Neumann, 2002). Entre os três tipos principais de tecido muscular, sendo eles, esquelético, liso e cardíaco, é o músculo esquelético que assegura a maioria dos movimentos voluntários, bem como a manutenção da postura (Seely et al., 2005). O tecido músculo-esquelético possui propriedades fundamentais: a contratilidade, que lhe permite gerar força; a excitabilidade, que o torna responsivo a estímulos; a extensibilidade, que possibilita o alongamento; e a elasticidade, que permite o retorno à sua forma original após a distensão (Hamill & Knutzen, 2008; National Strength and Conditioning Association [NSCA], 2017; Seely et al., 2005).

Os músculos esqueléticos assumem diferentes funções mecânicas. Podem atuar como agonistas, produzindo diretamente o movimento; antagonistas, oferecendo resistência controlada; sinergistas, auxiliando os agonistas; ou ainda como estabilizadores, fixando articulações para permitir o movimento eficaz de outras (NSCA, 2017). Este papel funcional é essencial para o controle motor e para a prevenção de lesões decorrentes de movimentos descoordenados.

Anatomicamente, o músculo esquelético está ligado ao osso por tendões e organiza-se em três níveis de envolvimento tecidual: o endomísio, que envolve cada fibra muscular individual; o perimísio, que rodeia os feixes ou fascículos; e o epimísio, que reveste o músculo inteiro (Hamill & Knutzen, 2008; Seely et al., 2005). No seu interior, cada fibra muscular é composta por inúmeras miofibrilas, organizadas em sarcômeros, as unidades funcionais básicas da contração muscular.

Assim, o músculo esquelético revela-se não apenas como um elemento contrátil, mas como um tecido multifuncional, essencial à estabilidade, termorregulação, metabolismo e desempenho físico global do ser humano.

### **2.2. Definição de Cinesiologia**

A cinesiologia é a ciência que se dedica ao estudo do movimento humano, abrangendo não apenas os aspectos anatômicos e fisiológicos, mas também as dimensões psicológicas e mecânicas envolvidas na execução dos gestos motores. O foco central desta área reside no sistema músculo-esquelético, com especial atenção à análise dos movimentos

sob uma perspectiva anatômica, e às ações musculares que os sustentam, independentemente da sua complexidade (Hamill & Knutzen, 2008).

As análises cinesiológicas caracterizam-se por serem qualitativas, baseando-se na observação detalhada dos movimentos, os quais são decompostos com o objetivo de compreender a atuação específica dos diferentes grupos musculares. Por exemplo, na análise do ato de levantar-se de uma cadeira, Hamill e Knutzen (2008) identificam os seguintes movimentos: extensão da anca, extensão do joelho e flexão plantar, realizados pelos isquiotibiais, pelo quadricípite femoral e pelo tricípite sural, respetivamente.

Dada esta abordagem descritiva e funcional, torna-se indispensável considerar o conceito de anatomia funcional. Este ramo da anatomia centra-se na análise dos componentes corporais não apenas pela sua localização, mas sobretudo pela função que desempenham durante o movimento. Ao invés de mapear simplesmente onde se encontram os músculos, a anatomia funcional procura compreender como e porquê eles atuam em determinados gestos, o que se revela fundamental em contextos desportivos e na prevenção de lesões (Hamill & Knutzen, 2008).

Além disso, a compreensão detalhada dos planos de movimento e dos movimentos básicos é essencial para qualquer análise cinesiológica. Os planos de movimento sagital, frontal e transversal, oferecem a base para categorizar as direções em que os gestos ocorrem. A identificação destes planos permite descrever com rigor movimentos como a flexão, extensão, rotação ou abdução, e facilita a análise mecânica e funcional do corpo humano em ação (Neumann, 2010).

Outro aspeto complementar à cinesiologia é a biomecânica, que fornece uma perspectiva quantitativa sobre o movimento, estudando as forças internas e externas que atuam no corpo e os efeitos que estas produzem. A integração entre cinesiologia e biomecânica é essencial para uma compreensão abrangente da função motora, permitindo avaliações mais precisas e intervenções mais eficazes, tanto em contexto clínico como desportivo (Hamill & Knutzen, 2008).

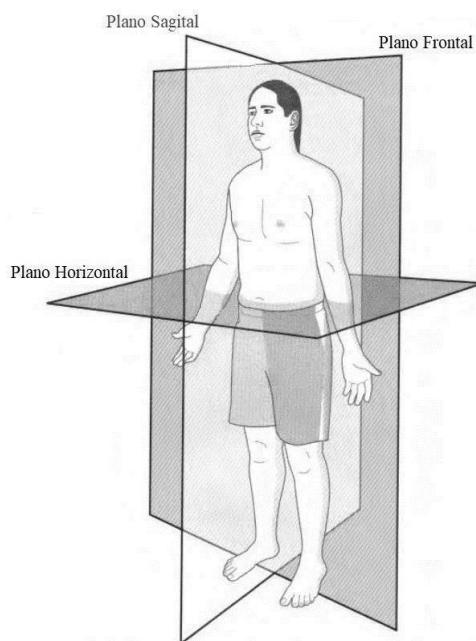
Deste modo, a cinesiologia, apoiada pela anatomia funcional e pela biomecânica, constitui uma base sólida para o estudo e otimização do movimento humano, contribuindo para o desempenho físico, a reabilitação e a prevenção de lesões.

### **2.2.1. Plano de movimentos**

A análise do movimento humano exige, como ponto de partida, a identificação do plano anatômico no qual determinado movimento ocorre. Para isso, é fundamental

compreender os três planos de referência: frontal, transversal e sagital (Hamill & Knutzen, 2008), conforme apresentado na Figura n.º 1.

A descrição de um movimento relativamente a um plano exige que a ação ocorra ao longo desse plano ou, no mínimo, paralelamente a ele. O plano frontal (ou coronal) é paralelo à sutura coronal do crânio e atravessa o corpo na vertical, dividindo-o em duas metades: anterior (frente) e posterior (retaguarda). O plano transversal (ou horizontal) cruza o corpo na horizontal, separando-o em porções superior e inferior. Já o plano sagital, paralelo à sutura sagital do crânio, divide o corpo em lados direito e esquerdo, sendo responsável por movimentos que ocorrem nessa direção (Neumann, 2002).



**Figura n.º 1 – Divisões dos três planos de movimentos**

**Fonte: Adaptado de Neumann (2002)**

A descrição precisa dos movimentos requer uma posição de referência padrão, designada por posição anatômica. Esta posição consiste num alinhamento ereto do corpo, com a cabeça voltada para a frente, os braços estendidos ao longo do tronco com as palmas das mãos viradas para a frente, e os pés juntos, com as pontas voltadas também para a frente (Hamill & Knutzen, 2008).

Existe, no entanto, uma variação dessa posição, designada por posição fundamental, igualmente utilizada como ponto de partida em determinadas análises. A principal diferença reside na orientação dos braços: na posição fundamental, os braços mantêm-se ao lado do corpo, mas com as palmas das mãos viradas para dentro, na direção do tronco, conferindo uma postura mais natural e descontraída (Hamill & Knutzen, 2008), como evidenciado na Figura n.º 2.

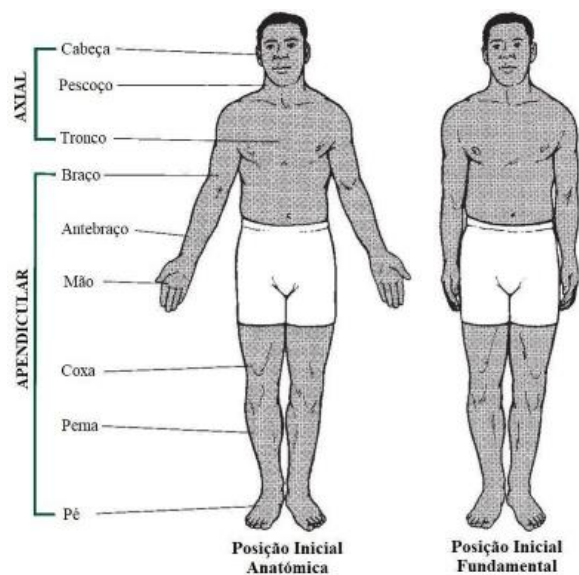


Figura n.º 2 – Posições iniciais de referência

Fonte: Adaptado de Hamill e Knutzen (2008).

### 2.2.2. Caracterização dos movimentos básicos

De acordo com Hamill e Knutzen (2008), o corpo humano é capaz de realizar seis movimentos articulares fundamentais, que ocorrem nas articulações sinoviais: flexão, extensão, adução, abdução, rotação interna e rotação externa. Estes constituem os movimentos básicos do corpo humano, servindo como base para a maioria das ações motoras. Os autores referem ainda que existem outros movimentos que, apesar de serem considerados “especializados”, são tecnicamente derivados dos seis movimentos essenciais.

Entre estes movimentos especializados, encontram-se: a flexão lateral, os movimentos de elevação e depressão, protração e retração, supinação e pronação, circundação, inversão, eversão, bem como a dorsiflexão e a plantarflexão. Estes ocorrem frequentemente em articulações específicas, como o tornozelo, a coluna vertebral ou a cintura escapular, e permitem a realização de gestos motores mais complexos (Hamill & Knutzen, 2008).

Por sua vez, Seely et al. (2005) apresentam uma categorização distinta, agrupando os movimentos do corpo humano em três grandes categorias: movimentos angulares, movimentos circulares e movimentos especiais. Os movimentos angulares são definidos pela alteração do ângulo entre dois segmentos do corpo, e incluem a flexão, extensão, abdução e adução, sendo os mais frequentemente observados no cotidiano e na prática desportiva.

No grupo dos movimentos circulares, integram-se aqueles em que ocorre a rotação de um segmento corporal em torno de um eixo. Exemplos destes incluem a rotação interna, rotação externa, pronação, supinação e circundação, muito comuns em articulações como o ombro e o antebraço (Seely et al., 2005).

Finalmente, os movimentos especiais são exclusivos de articulações específicas e não se enquadram nas categorias anteriores. Nestes incluem-se, entre outros, a elevação e depressão da escápula, a protração e retração da mandíbula ou da cintura escapular, bem como os movimentos de inversão e eversão do pé, sendo fundamentais para a estabilidade na marcha e na corrida (Seely et al., 2005).

## **CAPÍTULO 3 – LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS**

### **3.1. Caracterização das lesões músculo-esqueléticas**

As lesões músculo-esqueléticas referem-se a distúrbios que afetam o sistema músculo-esquelético, abrangendo condições inflamatórias e degenerativas que comprometem músculos, tendões, ligamentos, articulações, nervos periféricos e vasos sanguíneos de suporte (Punnett & Wegman, 2004). Estas lesões podem surgir em diferentes contextos, sendo particularmente relevantes quando associadas à atividade profissional.

Neste sentido, quando as LME são provocadas ou agravadas por atividades laborais, designam-se por lesões músculo-esqueléticas relacionadas com o trabalho. Estas resultam,

geralmente, da repetição de movimentos, da adoção de posturas incorretas ou do levantamento de cargas excessivas, fatores frequentemente presentes em ambientes profissionais exigentes (Uva et al., 2008). A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (2007, p. 1) define as LMERT como “lesões de estruturas orgânicas como os músculos, as articulações, os tendões, os ligamentos, os nervos, os ossos e doenças localizadas do aparelho circulatório, causadas ou agravadas principalmente pela atividade profissional e pelos efeitos das condições imediatas em que essa atividade tem lugar”.

Estas lesões podem ter duas origens distintas: uma origem aguda ou traumática, como é o caso de fraturas, entorses ou ruturas, e uma origem crônica ou por uso excessivo, que resulta da exposição repetida a esforços físicos ao longo do tempo. Este último tipo é o mais comum no caso das LMERT, uma vez que muitas atividades profissionais envolvem tarefas repetitivas, manutenção prolongada de posturas estáticas ou uso contínuo de determinados grupos musculares (Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho, 2007).

### **3.2. Fatores de risco associados às LMERT**

A etiologia das LMERT está fortemente ligada a determinados fatores presentes no contexto laboral. Como refere Pombeiro (2011, p. 9), estes fatores de risco consistem em elementos associados às condições de trabalho, ao processo produtivo ou às tarefas executadas, que podem contribuir para o surgimento deste tipo de lesões.

A presença e a intensidade desses fatores não atuam isoladamente. Segundo Uva et al. (2008), há três variáveis determinantes para o aumento do risco, nomeadamente, a frequência com que o trabalhador está exposto ao fator, a intensidade da solicitação física envolvida e a duração dessa exposição. Quanto maior for a interação entre estas três variáveis, maior será a probabilidade de ocorrerem desequilíbrios entre as exigências físicas da tarefa e a capacidade de resposta do organismo.

Este descompasso entre o esforço exigido e a aptidão funcional do trabalhador tende a manifestar-se com maior frequência em contextos onde há repetição de movimentos, esforços excessivos, posturas forçadas ou inadequadas, movimentação manual de cargas e exposição a vibrações (Uva et al., 2008). Como sublinham Punnett e Wegman (2004), o risco é exponencialmente agravado quando estes fatores ocorrem em simultâneo, o que é frequente em profissões exigentes do ponto de vista físico.

A Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho (2007) classifica os fatores de risco das LMERT em três categorias distintas: os fatores físicos, que dizem respeito às condições ergonómicas do posto de trabalho, abrangendo a biomecânica dos

movimentos, o manuseamento de cargas, a força aplicada, as posturas adotadas e a intensidade da atividade física; os fatores individuais, que estão relacionados com as características pessoais de cada trabalhador, como idade, género, historial clínico, condição física, entre outros aspetos que possam influenciar a predisposição para desenvolver lesões; e, ainda, os fatores organizacionais e psicossociais, onde incluem variáveis ligadas à gestão e estrutura do trabalho, como ritmos excessivos, ausência de pausas, monotonia laboral, baixa autonomia, falta de apoio social no ambiente de trabalho e perceções negativas do clima organizacional.

Estes três grupos de fatores, em articulação, não só influenciam o surgimento de LMERT, como impactam diretamente o desempenho, a saúde e o bem-estar global do trabalhador. A sua análise cuidadosa e a implementação de medidas preventivas específicas para cada contexto são essenciais para garantir ambientes laborais mais saudáveis e sustentáveis.

### **3.3. LME em ambiente militar**

As LME constituem, atualmente, uma das maiores ameaças à saúde e à operacionalidade das forças armadas. Estas lesões afetam diretamente a prontidão física dos militares, comprometendo não apenas o seu desempenho individual, mas também a eficácia global das unidades (Bullock et al., 2010). As consequências das LME são múltiplas: além dos danos físicos e psicológicos que provocam, têm impacto negativo no moral das tropas e acarretam custos elevados tanto em tempo de recuperação como em recursos financeiros (Van Tiggelen et al., 2008).

Neste contexto, as LME representam uma das principais causas de incapacidade funcional entre militares, traduzindo-se num número expressivo de baixas médicas. Esta realidade traduz-se num duplo prejuízo para as forças armadas. Por um lado, na redução da força disponível para o cumprimento das missões operacionais e, por outro, no aumento da despesa com tratamentos médicos e reabilitação (Nindl et al., 2013).

Entre os diferentes tipos de LME, aquelas associadas ao uso excessivo são particularmente prevalentes no meio militar. A elevada exigência física das funções desempenhadas pelos militares é muitas vezes comparável, ou até superior, à de atletas de alta competição. No entanto, ao contrário dos atletas, os militares estão sujeitos a cargas prolongadas e a variáveis externas não controladas, o que contribui para uma maior duração e complexidade na recuperação destas lesões. Estima-se, inclusive, que as lesões por uso

excessivo tendem a perdurar até cinco vezes mais do que as de origem traumática (Van Tiggelen et al., 2008).

Diversos estudos identificam fatores de risco específicos associados à ocorrência de LME em contexto militar. Entre eles, destacam-se a prática de desportos, o transporte de cargas pesadas, a permanência prolongada em posição ortostática e a realização de marchas a pé por longas distâncias (Yancosek et al., 2012). A estes fatores somam-se variáveis relacionadas com a aptidão física dos militares, sendo que níveis reduzidos de preparação física têm sido apontados como potenciais causas de lesões durante atividades de elevada intensidade. Contudo, a literatura científica atual ainda não apresenta dados suficientemente conclusivos para confirmar esta associação com total certeza (Taanila et al., 2015).

Adicionalmente, estudos mais recentes têm vindo a focar-se não apenas no tipo de atividade física realizada, como corrida, marchas ou pistas de obstáculos, mas sim na duração da exposição a essas atividades como fator determinante no risco de lesão. Assim, o tempo total sob esforço físico, mais do que a natureza isolada da tarefa, tem ganho relevância como variável crítica na investigação sobre LME no meio militar (Lovalekar et al., 2021).

### **3.3.1. LME em CAU**

As LME constituem uma preocupação relevante no contexto das operações militares, particularmente em situações de CAU, considerando-se um tema pouco desenvolvido. Este tipo de operação decorre, habitualmente, em zonas densamente edificadas, onde os militares se veem confrontados com múltiplos obstáculos físicos, como ruas estreitas, desníveis, estruturas verticais e terrenos instáveis. Estas exigências elevam substancialmente o esforço físico requerido, aumentando, por consequência, a probabilidade de ocorrência de LME.

A mitigação destes riscos exige uma preparação física adequada, sustentada por treinos que reproduzam de forma realista as condições típicas de um cenário urbano. Neste sentido, a realização de marchas com carga em terrenos desafiantes, aliada a uma adaptação progressiva à intensidade das tarefas, poderá contribuir para o reforço da capacidade física e para a diminuição da incidência de lesões.

Posto isto, a elevada exigência física imposta pelo CAU torna as LME uma ameaça constante à prontidão das forças. A adoção de planos de treino direcionados, que tenham em conta as especificidades do terreno e os fatores ambientais, é fundamental para promover a resiliência dos militares e garantir a eficácia nas operações conduzidas neste tipo de ambiente.

### **3.4. Programas de prevenção de LME**

Embora as LME constituam um problema persistente entre militares, vários autores defendem que o risco de ocorrência destas lesões pode ser mitigado com o desenvolvimento da aptidão física geral. Capacidade cardiorrespiratória, força, resistência muscular, flexibilidade, velocidade, equilíbrio, potência e agilidade são componentes frequentemente apontados como protetores relativamente a estas lesões. No entanto, a relação entre esses indicadores físicos e a ocorrência de LME em contexto militar ainda não está completamente esclarecida na literatura científica (De La Motte et al., 2017).

Para que se possam conceber estratégias de prevenção verdadeiramente eficazes, é crucial compreender, em profundidade, os fatores etiológicos das LME e não apenas as suas consequências ou gravidade. O conhecimento sobre as causas permite direcionar melhor os esforços de intervenção e, assim, reduzir a incidência de novos casos (Jones et al., 2000). Existem já programas de treino com enfoque em diferentes capacidades físicas, como a flexibilidade, o equilíbrio, a agilidade e a velocidade, que têm sido associados a uma menor taxa de lesões. Ainda assim, permanece por desenvolver um sistema eficaz e validado para identificar de forma sistemática os fatores de risco que originam estas lesões (De La Motte et al., 2017).

Outro aspeto que se destaca na prevenção, particularmente no ambiente militar, diz respeito ao enquadramento disciplinar e organizacional. A estrutura rígida, o cumprimento rigoroso de normas, e a influência de valores e condutas partilhadas dentro da cultura militar podem favorecer comportamentos mais seguros e conscientes durante o treino e as operações, contribuindo assim para a redução do número de LME (Van Tiggelen et al., 2008).

A falta de investimento sistemático em programas específicos de prevenção de LME no seio das forças armadas tem sido reiteradamente apontada como uma falha a colmatar. De acordo com Lovalekar et al. (2018), numa investigação apresentada no 4th International Congress on Soldiers' Physical Performance, foram identificadas, através de inquéritos aplicados a especialistas, várias prioridades no domínio da saúde física dos militares. As temáticas “Musculoskeletal injuries: injury mitigation programs” e “Musculoskeletal injuries: overuse injuries” destacaram-se entre as mais urgentes, demonstrando uma necessidade clara de aprofundamento científico e aplicação prática nesta área.

## **CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO ERGONÓMICA DO RISCO MÚSCULO-ESQUELÉTICO**

### **4.1. Definição de Ergonomia**

De acordo com The Eastman Kodak Company (2004, p. 2), a ergonomia é definida como “uma atividade multidisciplinar que se esforça para reunir informação sobre as capacidades e as aptidões das pessoas, e para utilizar essa informação na concepção de empregos, produtos, locais de trabalho e equipamentos”. Esta abordagem visa adaptar o trabalho ao ser humano, e não o contrário, tendo como principal objetivo a promoção da saúde, segurança e eficiência no desempenho de tarefas. Para isso, estabelece-se uma relação estreita entre as condições de trabalho e as características psicofisiológicas dos indivíduos, de forma a garantir não só o bem-estar dos trabalhadores como também a eficácia das operações realizadas (Universidade Estadual de Campinas, 2001).

Quando se aborda o conceito de ergonomia, é comum o surgimento do termo fatores humanos, frequentemente utilizado como sinónimo. Ambos os conceitos têm em comum a preocupação com a interação entre a pessoa e a tarefa, com foco na segurança, desempenho e usabilidade. Contudo, existem algumas diferenças, enquanto a ergonomia tradicional tende a centrar-se nas condições físicas e ambientais de trabalho, os fatores humanos abrangem igualmente aspetos cognitivos e organizacionais, com especial ênfase na prevenção do erro humano e na eficiência das interações homem-sistema (The Eastman Kodak Company, 2004).

Além disso, é consensual entre investigadores que a ergonomia se organiza em três grandes domínios complementares: a ergonomia física, centrada nos aspetos biomecânicos e fisiológicos (como postura, carga física e repetição de movimentos); a ergonomia cognitiva, que trata da forma como os processos mentais (atenção, memória, raciocínio) afetam o desempenho; e a ergonomia organizacional, que analisa as estruturas de gestão, a comunicação e a cultura institucional com impacto direto no comportamento humano (ButturaChrusciak et al., 2020).

### **4.2. Posturas de trabalho e as LMERT**

As posturas adotadas durante a execução das tarefas laborais estão diretamente associadas ao desenvolvimento de LME, sobretudo quando combinadas com níveis elevados de solicitação muscular, ritmos de trabalho intensos e características físicas específicas das atividades exercidas. Estas lesões, geralmente resultam de exposições cumulativas a esforços

repetidos e a posturas inadequadas mantidas ao longo do tempo (Inspeção Geral das Atividades em Saúde [IGAS], 2018).

Entre as posturas mais frequentes no contexto profissional encontram-se a posição sentada e a posição em pé, sendo esta última considerada, em comparação, mais exigente do ponto de vista fisiológico. A postura em pé requer maior ativação e recrutamento muscular, sobretudo dos membros inferiores, o que aumenta o risco de sobrecarga e fadiga muscular (Freitas & Cordeiro, 2013).

Quando o trabalho exige permanecer sentado, é essencial que a postura seja cuidadosamente ajustada, uma vez que se verifica uma maior compressão na região da coluna vertebral. Para minimizar esse impacto, recomenda-se que as costas estejam apoiadas no encosto do assento, especialmente na zona lombar. Este encosto deve proporcionar suporte suficiente para manter a coluna alinhada, sem permitir o avanço dos ombros. Além disso, o assento deve ser ajustável, permitindo que a altura esteja em consonância com a estatura do trabalhador e a disposição dos objetos ao seu redor. As pernas devem manter os quadris paralelos ao chão, formando um ângulo ligeiramente superior a 90° com os joelhos, contribuindo para a manutenção da verticalidade da coluna (Universidade Estadual de Campinas, 2001).

Já na postura de pé, por natureza mais exigente, é fundamental que se evite a inclinação excessiva do tronco para a frente, sem, contudo, exagerar na rigidez da coluna. A postura ideal inclui ombros ligeiramente projetados para trás, cabeça erguida e contração leve dos músculos abdominais. Quando a permanência nesta posição é prolongada, recomenda-se o uso de um apoio para os pés, que permita alternar o peso entre as pernas e reduzir a tensão exercida nos membros inferiores (Universidade Estadual de Campinas, 2001).

O risco de LME agrava-se substancialmente quando estas posturas são combinadas com movimentos de flexão, torção ou rotação do tronco ou de outros segmentos corporais. Estas ações impõem um maior esforço sobre articulações e grupos musculares, aumentando o desgaste, a fadiga e, por conseguinte, a probabilidade de ocorrência de lesões (Freitas & Cordeiro, 2013).

De acordo com a IGAS (2018), a adoção continuada de posturas incorretas pode levar ao surgimento de LME específicas, consoante a zona corporal mais afetada. As lesões mais frequentemente observadas são os membros inferiores (bursites e entorses), os membros superiores, pescoço e ombros (síndrome cervical, síndrome do túnel cárpico, epicondilites e

tendinites) e a coluna vertebral (cervicalgias, lombalgias, dorsalgias, hérnias discais e dor ciática).

### **4.3. Métodos de avaliação do risco de LMERT**

Com o reconhecimento progressivo da relevância das LME no contexto laboral, surgiu também a necessidade de mensurar, com rigor, a exposição aos fatores de risco que contribuem para o seu aparecimento. Esta necessidade impulsionou o desenvolvimento de ferramentas específicas que passaram a constituir a base de programas de prevenção e mitigação de riscos. Tais programas, atualmente, fundamentam-se nos princípios da ergonomia, abrangendo a análise de todos os elementos que compõem o sistema de trabalho, com o objetivo de encontrar soluções otimizadas e sustentáveis (David, 2005).

No que diz respeito especificamente aos fatores físicos e biomecânicos associados à LMERT, foram desenvolvidos diversos métodos de avaliação da exposição, os quais podem ser agrupados em três grandes categorias: questionários de autoavaliação, métodos observacionais e métodos diretos (David, 2005; Li & Buckle, 1999; Santos, 2020).

Os Questionários de Autoavaliação têm como objetivo recolher dados diretamente junto dos trabalhadores, permitindo identificar tanto os fatores de risco a que estão sujeitos como os sintomas músculo-esqueléticos que eventualmente já manifestam. São ferramentas práticas e acessíveis, frequentemente utilizadas em ambientes ocupacionais. Entre os exemplos mais citados encontram-se o Body Map, desenvolvido por Corlett e Bishop (1976), o Questionário Nórdico Estandarizado, elaborado por Kuorinka et al. em 1987, e a sua versão atualizada, o Nordic Musculoskeletal Questionnaire, proposta por Hedge em 2005 (Santos, 2020).

Os Métodos Observacionais foram concebidos para avaliar, de forma visual e sistemática, a exposição dos trabalhadores a fatores de risco físicos. Dividem-se geralmente em duas subcategorias: Métodos observacionais simples, que consistem na observação direta das tarefas no posto de trabalho e na recolha de dados sobre movimentos, esforços, posturas e outras exigências físicas. Estes dados são registados em fichas ou tabelas que permitem calcular um índice ou pontuação indicativa da exposição ao risco; e em métodos observacionais avançados, que são aplicáveis a atividades mais dinâmicas e baseiam-se em gravações em vídeo. Posteriormente, as imagens são analisadas através de software especializado, permitindo uma avaliação detalhada de vários segmentos articulares em simultâneo. Estes sistemas permitem aferir parâmetros como distâncias de movimento, alterações angulares, velocidades e acelerações (David, 2005).

Os Métodos Diretos recorrem a sensores aplicados diretamente no corpo do trabalhador, permitindo obter medições precisas das variáveis de exposição. Entre os dispositivos mais comuns destacam-se os goniómetros, que registam continuamente os ângulos articulares durante a execução das tarefas; os acelerómetros tri-axiais, que analisam os padrões de movimento e postura; e a eletromiografia, uma técnica usada para medir a atividade elétrica dos músculos e, por conseguinte, quantificar a tensão muscular (David, 2005; Santos, 2020).

## **CAPÍTULO 5 – IMPORTÂNCIA DO ESTUDO**

### **5.1. A Importância da Ergonomia na Eficácia Operacional**

No Exército Português existe carência de estudos focados na avaliação das exigências físicas do CAU, derivado por ser um tema pertinente e atual, no campo das ciências militares. Este estudo é especialmente importante por proporcionar conhecimentos que promovem uma preparação adequada aos militares e a segurança dos mesmos, em ambientes urbanos (EME, 2011).

A ergonomia em contexto militar deve ser valorizada, principalmente em operações de CAU, pois melhora o desempenho operacional e reduz o risco de lesões dos militares. Existem estudos que indicam que a carga física e o stress mental que os militares estão expostos nas operações em ambiente urbano são elevados, podendo comprometer o sucesso da missão e a saúde dos militares a longo prazo (Knapik et al., 2004).

É sabido que a saúde e o bem-estar dos militares são extremamente importantes para o sucesso das missões. Particularmente, as lesões revelam-se preocupantes, podendo resultar na incapacitação temporária ou permanente dos militares. De acordo com Nindl et al. (2013), a prevenção de lesões com a ergonomia promove a prontidão física que, conseqüentemente, melhora a capacidade no desempenho de funções.

Além disso, Friedl (2018) enfatiza que uma constante monitorização dos indicadores fisiológicos permite a recolha de dados para a elaboração de melhores planos de treino, garantindo saúde aos militares e um melhor desempenho das suas funções.

A eficiência operacional em cenários de CAU pode ser drasticamente afetada por fatores ergonómicos. Holowka, Kiesel e Ringleb (2016) demonstraram que a implementação

de melhorias ergonômicas no equipamento militar pode reduzir a carga física sobre os militares, aumentando sua mobilidade, assim como, a capacidade de resposta. Assim sendo, podemos concluir que os equipamentos mal ajustados ao corpo do militar aumentam o risco de lesões nas suas operações e reduzem a eficácia, influenciando o tempo de resposta e a capacidade de execução de tarefas sob pressão.

Os contributos obtidos da análise ergonômica podem ser aplicados diretamente na elaboração de programas de treinos mais eficazes. Segundo Larsson et al. (2023), uma compreensão detalhada das exigências físicas e das características dos movimentos durante simulações de combate pode guiar a criação de regimes de treino que preparem os militares para as realidades do combate urbano. Esses programas de treino podem incorporar simulações realistas que imitem as condições de combate, permitindo que os militares desenvolvam habilidades específicas e resistência necessárias para determinadas tarefas no CAU.

Além disso, Alves (2022) argumenta que a formação adaptada às condições urbanas pode melhorar significativamente a prontidão física e mental dos militares. A adaptação dos programas de treino para incluir cenários realistas e exigências físicas específicas do CAU pode resultar numa força de combate mais bem preparada.

Investir em ergonomia pode baixar bastante os custos a nível da saúde e recuperação de militares. Knapik et al. (2004) mostram que lesões musculoesqueléticas não apenas prejudicam o desempenho dos militares, mas também geram grandes despesas para as Forças Armadas. Com práticas ergonômicas adequadas, conseguimos reduzir essas lesões, economizando nos tratamentos e diminuindo o tempo de afastamento dos militares.

Conforme destacam Li e Buckle (1999) é importante desenvolver técnicas e metodologias para a compreensão da ergonomia física e dos riscos associados nas mais variadas tarefas críticas, contribuindo para o avanço da pesquisa científica nesta área.

A ergonomia no ambiente militar proporciona conhecimento indispensável para aplicar noutros contextos, tal como em ambientes civis ou industriais.

As forças armadas zelam constantemente pela segurança dos seus militares. Lampton et al. (2003) destacam que as condições do combate urbano exigem uma elevada intensidade de treino para garantir a segurança e eficácia dos militares durante as operações. Os princípios ergonômicos procuram a mitigação de riscos, proporcionando maior segurança, aos militares, na execução de suas tarefas.

Por fim, a análise ergonômica de tarefas críticas no CAU também apresenta uma grande importância garantindo um melhor desempenho dos militares, através da aplicação

da ergonomia que resulta numa força de combate mais eficiente e capaz de combater em ambientes de alta intensidade como é o caso do CAU. Deste modo, a investigação nesta área é essencial para a criação de estratégias e tecnologias de forma a mitigar os riscos associados e de forma a melhorar a vida e o desempenho dos militares nestes tipos de ambientes operacionais.

## **PARTE II – ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO E TRABALHO DE CAMPO**

### **CAPÍTULO 6 – METODOLOGIA, MÉTODOS E MATERIAIS**

#### **6.1. Objetivos e questões de investigação**

Os objetivos de investigação desempenham um papel fundamental na definição da intenção e do rumo que o investigador pretende seguir ao longo do estudo. Estes objetivos ajudam a esclarecer o que se pretende alcançar com a investigação, estruturando de forma clara as etapas e prioridades do processo científico. Paralelamente, surgem as questões de investigação, que identificam o problema ou fenómeno a ser explorado, permitindo delimitar o foco da análise (Saunders et al., 2012).

Neste contexto, os objetivos e as questões estão intimamente relacionados, funcionando de forma complementar. Os objetivos orientam a investigação no sentido da obtenção de respostas concretas, enquanto as questões servem como ponto de partida para a formulação dos objetivos específicos. Segundo Saunders et al. (2012), uma única questão central pode desdobrar-se em várias outras questões mais específicas ou ser utilizada como base para definir objetivos detalhados e direcionados à resolução do problema em estudo.

No caso do presente trabalho, o OG consiste na: "Análise ergonómica em tarefas críticas no CAU". Este objetivo será alcançado por via da resposta à QC formulada da seguinte forma: "Quais as exigências físicas das tarefas críticas no CAU?".

A partir desta questão central, derivaram-se outras questões mais específicas, que permitiram construir um conjunto de OE alinhados com o problema de investigação, sendo que estes objetivos e perguntas derivadas (PD) possibilitam um aprofundamento estruturado do tema (Saunders et al., 2012). Deste modo, foram definidos os OE que estão diretamente

relacionados com as PD levantadas para realização desta investigação, como apresentado na Tabela n.º 2.

Tabela n.º 2 – Objetivos Específicos e Perguntas Derivadas

<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Perguntas Derivadas</b>
<b>1. Identificar as principais tarefas críticas realizadas no CAU</b>	1. Quais são as principais tarefas críticas realizadas no CAU?
<b>2. Analisar as posturas adotadas em tarefas críticas no CAU</b>	2. Como são caracterizadas as posturas adotadas em tarefas críticas no CAU?
<b>3. Analisar os movimentos realizados em tarefas críticas no CAU</b>	3. Como são caracterizados os movimentos realizados em tarefas críticas no CAU?
<b>4. Avaliar a carga física exigida na realização de tarefas críticas</b>	4. Qual é a avaliação da carga física exigida na realização de tarefas críticas?

Fonte: Elaboração própria

## **6.2. Tipo de estudo, abordagem e método científico**

A definição do tipo de estudo, da abordagem metodológica e do método científico constitui um eixo central no delineamento de qualquer investigação, uma vez que é a partir dessas escolhas que se estrutura o caminho a seguir para alcançar uma resposta rigorosa à questão de investigação (Saunders et al., 2012).

O presente trabalho enquadra-se no domínio dos estudos descritivos, assumindo a forma de um estudo de caso, dado que se foca na análise aprofundada de uma realidade específica observada em contexto natural, baseada num trabalho de campo. Este tipo de estudo visa compreender fenómenos no seu ambiente real, com um olhar atento sobre as particularidades que os caracterizam (Freixo, 2012).

No que diz respeito ao raciocínio científico, optou-se por uma abordagem indutiva, ou seja, o processo investigativo parte da observação de situações concretas e específicas, com o intuito de produzir inferências e gerar generalizações sobre a realidade empírica

(Freixo, 2012; Reis, 2022). Esta opção metodológica é particularmente adequada quando o objetivo é construir conhecimento a partir da análise detalhada de experiências reais, como é o caso das tarefas críticas em CAU.

A investigação segue uma abordagem quantitativa, sustentada na recolha e análise objetiva com recursos a métodos quantitativos e validados. Esta estratégia permite quantificar as exigências físicas observadas, facilitando a interpretação estatística e a formulação de conclusões baseadas em evidência mensurável, de acordo com os princípios da investigação empírica.

### **6.3.Amostra**

A presente investigação tem como população-alvo os militares que desempenham funções de CAU, dado que são estes os elementos diretamente expostos às exigências físicas e operacionais inerentes a este tipo de TO. A amostra utilizada neste estudo foi definida segundo uma abordagem não probabilística, também designada como amostragem empírica, uma vez que a seleção dos participantes não foi realizada com base em métodos aleatórios, mas sim a partir de critérios específicos e relevantes para os objetivos da investigação. Neste tipo de amostragem, os elementos da população não possuem igual probabilidade de serem incluídos na amostra, sendo esta constituída por sujeitos escolhidos intencionalmente devido às suas características particulares (Marôco, 2018).

A amostra integra quatro militares, todos do sexo masculino, pertencentes à Brigada de Reação Rápida, todos com comprovada experiência operacional em CAU, enquadrando-se assim no perfil da população-alvo deste estudo. A seleção destes participantes teve como finalidade assegurar a representatividade das exigências físicas e técnicas que caracterizam o CAU, bem como garantir a fiabilidade dos dados recolhidos no terreno.

Os critérios de inclusão foram cuidadosamente definidos por ser militar no ativo das Forças Armadas Portuguesas, estando colocado numa unidade do Exército Português, designadamente o Regimento de Infantaria n.º 10 (RI10), sediado em São Jacinto, responsável pelo aprontamento do 2.º Batalhão de Infantaria Paraquedista, unidade reconhecida pela sua competência operacional em AU, apresentar condição física plena, sem lesões ou limitações funcionais que compromettesse a execução das tarefas propostas.

Durante a recolha de dados, os militares realizaram os testes e tarefas operacionais utilizando o seu equipamento individual de combate (APÊNDICE A), a fim de assegurar condições de realismo operacional e máxima validade ecológica nos resultados obtidos.

Na Tabela n.º 3 estão apresentados os dados individuais de cada um dos elementos da amostra estudada.

**Tabela n.º 3 – Caracterização da Amostra**

<b>Função na Equipa</b>	<b>Idade</b>	<b>Peso c/ equi. (kg)</b>	<b>Altura c/equi. (cm)</b>	<b>Comprimento de calçado (cm)</b>
<b>Ponta</b>	23	100,2	174	29,5
<b>Apoio Ponta/ Cmdt Esquadra</b>	28	97,3	176	30,5
<b>Brecha</b>	30	108,5	188,5	29,4
<b>Apoio Brecha/ Tail Gunner</b>	26	108,4	192,5	32

**Fonte: Elaboração própria**

#### **6.4. Instrumentos de Medição**

O processo de recolha de dados nesta investigação foi conduzido em duas fases distintas, integrando tanto uma componente teórica como uma componente empírica.

Numa primeira fase, correspondente à revisão da literatura, procedeu-se à recolha e análise de informação com o intuito de apurar o estado da arte e consolidar os principais conceitos que sustentam o modelo de análise adotado. Esta recolha baseou-se predominantemente em fontes primárias, como legislação nacional e europeia aplicável às Lesões Músculo-Esqueléticas Relacionadas com o Trabalho, documentos doutrinários do Exército Português com enfoque no CAU, e ainda artigos científicos e dissertações de mestrado centrados nos diversos subtemas da investigação. Paralelamente, foram também consideradas fontes secundárias, incluindo obras de referência na área da ergonomia, biomecânica, cinesiologia e fisiologia do movimento.

Na segunda fase, de natureza empírica, procedeu-se à realização de um estudo experimental em que se realizou a análise cinemática, com o objetivo de compreender o impacto físico das TC realizadas em contexto de combate urbano.

A recolha de dados baseou-se na utilização de um sistema de Unidades de Medição Inercial (IMUs), o Xsens MVN (Xsens Technologies, Enschede, Países Baixos), que permite registar o movimento tridimensional do corpo humano em alta resolução (Mvn et al., 2015).

Este sistema é constituído por 17 sensores IMUs colocados pelos seguintes nos segmentos corporais: pés, pernas, coxas, pélvis, esterno, cabeça, omoplatas, braços, antebraços e mãos (APÊNDICE B). Os sensores foram colocados conforme as instruções do fabricante, com o objetivo de minimizar a interferência causada pelo movimento dos tecidos moles, conhecido como artefacto de tecidos moles (Chiari et al., 2005).

Antes da recolha de dados, foram registadas medidas antropométricas dos quatro militares participantes, nomeadamente: altura e comprimento do calçado. Estas medidas foram introduzidas no software MVN da Xsens, escalando o modelo individual (Roetenberg et al., 2009).

O processo de calibração incluiu dois procedimentos: um estático e outro dinâmico. Inicialmente, os participantes permaneceram na posição n-pose, que consiste em manter o corpo ereto com os braços completamente esticados ao longo do corpo, com as palmas das mãos viradas para o corpo, seguido de um breve deslocamento (caminhar para a frente e regressar à posição inicial).

Cada militar executou, em equipa, um conjunto de tarefas operacionais representativas da sua função específica no seio de uma equipa, utilizando o equipamento individual de combate, por forma a manter uma abordagem ecológica.

Antes do início da fase experimental, todos os participantes foram devidamente informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo, tendo assinado um consentimento informado (APÊNDICE C), em conformidade com os princípios éticos aplicáveis à investigação com seres humanos.

## **6.5. Métodos de análise de dados**

### **6.5.1. Análise dos dados cinemáticos**

Os dados cinemáticos recolhidos durante a execução das tarefas por parte dos quatro militares foram inicialmente processados e armazenados num computador, sendo apresentados graficamente sob a forma de um avatar tridimensional (3D). Esta representação foi gerada em tempo real através do software Xsens MVN Analyse 2024.2.0 (Xsens Technologies), o qual permitiu visualizar e registar os movimentos corporais completos de cada militar durante a realização das tarefas operacionais.

Para o cálculo dos ângulos articulares, os dados cinemáticos foram analisados através da Xsens MotionCloud, permitindo ter uma visão ao longo do tempo das exigências da tarefa. Para cada tarefa foi selecionada a postura mais exigente assumida pelos militares.

Estas imagens (APÊNDICE D) serviram de referência para a aplicação do método REBA. Este método permite classificar objetivamente o nível de risco ergonómico com base na combinação de posturas, forças exercidas e repetição dos movimentos.

### 6.5.2. Avaliação do risco

Para determinar os fatores de risco biomecânicos associados com cada tarefa e cada posição, o método REBA foi aplicado. O método REBA é um método de avaliação observacional desenvolvido por Sue Hignett e Lynn McAtamney, em 1995, com o objetivo de analisar posturas corporais durante a realização de tarefas profissionais e determinar o grau de risco de desenvolvimento de LME. Trata-se de uma ferramenta de análise postural do corpo inteiro, amplamente utilizada em contextos laborais para a avaliação de tarefas dinâmicas ou estáticas (Hignett & McAtamney, 2000).

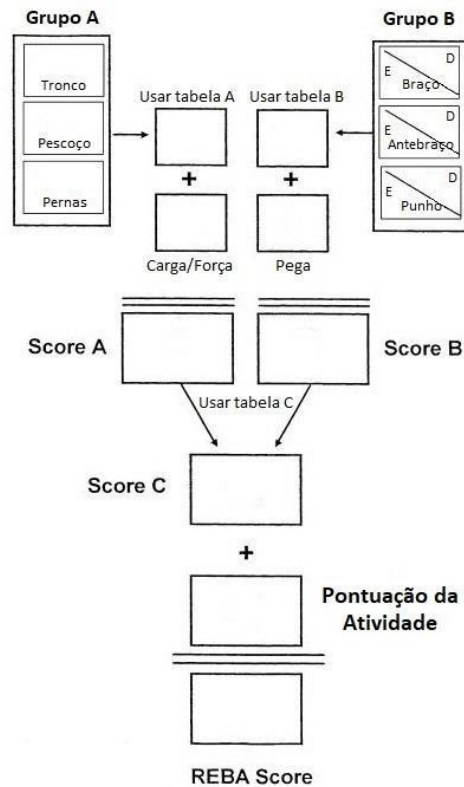
Uma das particularidades do REBA reside na divisão do corpo em segmentos anatómicos distintos, permitindo a análise individualizada das articulações sem a necessidade de um referencial fixo. A avaliação baseia-se na posição relativa dos segmentos corporais, nos ângulos articulares, na força aplicada, no tipo de pega utilizada e na natureza da tarefa. Com base na combinação destes fatores, é possível estimar o risco músculo-esquelético associado à postura de trabalho adotada (Hignett & McAtamney, 2000).

Importa ainda destacar que o REBA foi concebido para avaliar o risco ergonómico sem recorrer a sistemas de referenciais absolutos, baseando-se, antes, na posição relativa e nos ângulos articulares entre diferentes segmentos corporais, em articulação com variáveis como a força aplicada, o tipo de pega e a natureza da tarefa. Assim, o método proporciona uma análise robusta e objetiva, mesmo em ambientes operacionais complexos, como o CAU (Hignett & McAtamney, 2000).

O REBA é um método quantitativo baseado em pontuações, o que exige a utilização de uma folha de registo específica (ANEXO A) e a observação direta da tarefa, seja por meio de fotografias ou vídeos. A pontuação final do método é obtida através de uma matriz de cálculo, a partir da qual se somam os *scores* atribuídos aos diferentes grupos corporais, conforme apresentado na Figura n.º 3.

A estrutura do REBA está organizada em três fases. O grupo A inclui os segmentos do pescoço, tronco e pernas. A sua análise resulta numa pontuação intermédia designada por *Score A*, à qual pode ser acrescentada uma pontuação adicional se estiver envolvida a aplicação de carga ou força durante a tarefa. O grupo B compreende os segmentos do braço

superior, antebraço e punho. O resultado da sua avaliação origina o *Score B*, que também pode ser ajustado mediante a qualidade da pega (firme ou instável) utilizada para agarrar ou manusear cargas. E, por último, os *Scores A* e *B* são posteriormente combinados para gerar o *Score C*, que, por sua vez, pode ainda ser ajustado em função da natureza da atividade (estática ou dinâmica).



**Figura n.º 3 – Cálculo das pontuações**

**Fonte: Adaptado de Hignett e Mcatamney (2000).**

O *Score* final REBA varia entre 1 e 15 pontos, sendo que cada intervalo corresponde a um determinado nível de risco ergonómico, acompanhado por uma recomendação de ação (Figura n.º 4). Quanto mais elevado for o valor final, maior é o risco associado à tarefa e, consequentemente, maior a urgência de implementação de medidas corretivas.

Nível de Ação	Pontuação REBA	Nível de Risco	Ação (Incluindo futura Avaliação)
0	1	Negligenciável	Não é necessária
1	2-3	Baixo	Possivelmente necessária
2	4-7	Médio	Necessária
3	8-10	Alto	Brevemente necessária
4	11-15	Muito Alto	Imediatamente necessária

Figura n.º 4 – Níveis de Risco do REBA

Fonte: Adaptado de Hignett e Mcatamney (2000).

## CAPÍTULO 7 – RESULTADOS

### 7.1. Resultados da Análise Cinemática

No âmbito do trabalho de campo, cada um dos quatro militares realizou uma sequência de tarefas específicas, correspondentes às respetivas funções operacionais. Durante a execução dessas tarefas, foi possível registar a percentagem de tempo em que cada função esteve associada a diferentes níveis de risco ergonómico ao longo da missão (APÊNDICE E).

A referência temporal estabelecida para a simulação foi de 120 segundos, correspondente à duração total da missão, conforme se apresenta na Tabela n.º 4.

Importa referir que o militar que desempenha a função de Ponta, durante a limpeza dos compartimentos, permanece estático com a arma apontada para a frente, garantindo a segurança da retaguarda junto à porta, enquanto os restantes elementos realizam a limpeza.

Tabela n.º 4 – Sequência de tarefas realizadas, divididas por tempo de execução

Tarefas realizadas		
N.º	Descrição	Tempo (segundos)
1	Abordagem ao edifício	20
2	Entrada no edifício	20
3	Limpeza dos compartimentos	20
4	Saída do edifício	17
5	Marcha fletida	13
6	Técnica de fatiar a janela	23
7	Deslocamento tático	7

Fonte: Elaboração própria

A análise dos dados cinemáticos recolhidos durante a execução das tarefas permitiu o cálculo detalhado dos ângulos articulares referentes ao pescoço, tronco, ombros, cotovelos, punhos e joelhos de cada um dos militares participantes, em todas as tarefas realizadas no circuito de CAU (APÊNDICE F).

Estes ângulos, processados automaticamente, foram utilizados como base para a aplicação do método REBA. O programa gerou, de forma contínua, pontuações REBA correspondentes a cada instante da execução das tarefas. Desta forma, foi possível avaliar de forma dinâmica e objetiva o nível de risco postural a que os militares estiveram sujeitos ao longo de todo o circuito, permitindo identificar os momentos e as zonas de maior exigência biomecânica e risco de desenvolvimento de lesões músculo-esqueléticas.

O REBA é utilizado para determinar o nível de risco com base em pontuações obtidas a partir de ângulos automaticamente calculados por recursos tecnológicos próprios do método. Desta forma, é possível avaliar o nível de risco de cada tarefa realizada durante o circuito de CAU, considerando os momentos que exigem maior esforço físico na execução dessas mesmas tarefas.

## 7.2. Resultados da Análise Ergonómica

A análise ergonómica foi realizada individualmente para todas as tarefas desempenhadas pelos quatro militares da equipa, recorrendo ao método REBA

(APÊNDICE G). Para efeitos de cálculo da pontuação final REBA, considerou-se sempre o instante da tarefa que apresentava o maior *score*, dado que o objetivo da análise é identificar o maior nível de risco associado a cada tarefa. Na Tabela n.º 5, é possível observar todos os *Scores* da análise ergonómica para cada uma das funções dos militares pertencentes à equipa.

Tabela n.º 5 – Scores REBA dos quatro militares pertencentes à equipa

Ponta		Apoio Ponta/ Cmdt Esq	
Tarefa	Score Final	Tarefa	Score Final
T1_1	10	T1_1	10
T1_2	8	T1_2	10
T2_1	6	T2_1	8
T2_2	9	T2_2	9
T3_1	10	T3_1	10
T3_2	9	T3_2	10
T4_1	3	T4_1	8
T4_2	7	T4_2	8
T5_1	10	T5_1	10
T5_2	9	T5_2	10
T6_1	9	T6_1	9
T6_2	8	T6_2	8
T7_1	8	T7_1	8
T7_2	8	T7_2	8

Brecha		Apoio Brecha/ Tail Gunner	
Tarefa	Score Final	Tarefa	Score Final
T1_1	8	T1_1	8
T1_2	8	T1_2	9
T2_1	9	T2_1	10
T2_2	10	T2_2	10
T3_1	9	T3_1	10
T3_2	9	T3_2	9
T4_1	7	T4_1	9
T4_2	9	T4_2	8
T5_1	10	T5_1	10
T5_2	10	T5_2	10
T6_1	8	T6_1	8
T6_2	8	T6_2	8
T7_1	5	T7_1	7
T7_2	8	T7_2	8

Fonte: Elaboração própria

Após a obtenção dos *scores* REBA para cada tarefa, foi normalizado o score do REBA ao tempo de execução de cada ação. Esta ponderação permitiu calcular o *Score* de Risco (SR), um indicador composto que considera tanto a pontuação ergonómica como o tempo de exposição à tarefa. Isto é, comparar dentro de cada função o nível de risco apresentado para, posteriormente, se compreender a brevidade de ação necessária, tendo em consideração o tempo de execução de cada tarefa, através da seguinte equação:

$$SR_i = REBA_i \times \frac{T_i \times 100}{T_{Missão}}, (i = 1, 2, \dots, 7) \quad (1)$$

Considerando  $REBA_i$  o *Score* Final do REBA,  $i$  a tarefa que está a ser analisada,  $T_i$  o tempo de execução da tarefa e  $T_{Missão}$  o tempo total de duração do circuito.

De forma a comparar dentro de cada função o nível de risco apresentado e, posteriormente, compreender a brevidade de ação necessária, tendo em consideração todas as tarefas executadas nessa mesma função, foi calculado um segundo indicador, o *Score* de Risco Normalizado (SRn), utilizando a seguinte equação:

$$SRn_i = \frac{SR_i}{SR_{Max}} \quad (2)$$

Considerando que,  $SR_i$  é o *Score* de Risco acima calculado e  $SR_{Max}$  é o valor do *Score* de Risco mais elevado.

Este índice normalizado permitiu balizar os resultados entre os valores de 1 e 100, proporcionando uma escala proporcional baseada nos níveis de risco definidos pelo REBA. Como representado na Figura n.º 5, esta abordagem facilitou a identificação das tarefas mais críticas do ponto de vista ergonómico, por função militar, e permitiu classificar o grau de risco associado a cada uma delas.

Pontuação do $SRn_i$	Nível de Risco	Ação
1-7	Negligenciável	Não é necessária
8-20	Baixo	Possivelmente necessária
21-47	Médio	Necessária
48-67	Alto	Brevemente necessária
68-100	Muito Alto	Imediatamente necessária

Figura n.º 5 – Níveis do Score de Risco Normalizado

A utilização combinada do REBA com o tempo de execução e a posterior normalização dos *scores* possibilitou uma avaliação mais precisa e contextualizada das exigências físicas impostas pelas tarefas críticas em ambiente urbano. Com base nestes resultados, é possível propor ações de mitigação do risco mais direcionadas, conforme a função desempenhada por cada militar.

Como ilustrado na Tabela n.º 6, foi possível proceder à classificação das tarefas desempenhadas por cada um dos quatro militares da equipa, tendo por base o respetivo *Score* de Risco Normalizado, o que permitiu identificar as ações mais adequadas a adotar face ao nível de risco associado.

Tabela n.º 6 – Níveis do Score de Risco Normalizado por tarefa

Ponta					Apoio Ponta/ Cmdt Esq				
Tarefa	Score REBA	Tempo (Seg)	SR	SRn	Tarefa	Score REBA	Tempo (Seg)	SR	SRn
T1_1	10	20	167	0,97	T1_1	10	20	167	0,97
T1_2	8		133	0,77	T1_2	10		167	0,97
T2_1	6	20	100	0,58	T2_1	8	20	133	0,77
T2_2	9		150	0,87	T2_2	9		150	0,87
T3_1	10	20	167	0,97	T3_1	10	20	167	0,97
T3_2	9		150	0,87	T3_2	10		167	0,97
T4_1	3	17	43	0,25	T4_1	8	17	113	0,66
T4_2	7		99	0,57	T4_2	8		113	0,66
T5_1	10	13	108	0,63	T5_1	10	13	108	0,63
T5_2	9		98	0,57	T5_2	10		108	0,63
T6_1	9	23	173	1	T6_1	9	23	173	1
T6_2	8		153	0,89	T6_2	8		153	0,89
T7_1	8	7	47	0,27	T7_1	8	7	47	0,27
T7_2	8		47	0,27	T7_2	8		47	0,27

Brecha					Apoio Brecha/ Tail Gunner				
Tarefa	Score REBA	Tempo (Seg)	SR	SRn	Tarefa	Score REBA	Tempo (Seg)	SR	SRn
T1_1	8	20	133	0,8	T1_1	8	20	133	0,8
T1_2	8		133	0,8	T1_2	9		150	0,9
T2_1	9	20	150	0,9	T2_1	10	20	167	1
T2_2	10		167	1	T2_2	10		167	1
T3_1	9	20	150	0,9	T3_1	10	20	167	1
T3_2	9		150	0,9	T3_2	9		150	0,9
T4_1	7	17	99	0,6	T4_1	9	17	128	0,77
T4_2	9		128	0,77	T4_2	8		113	0,68
T5_1	10	13	108	0,65	T5_1	10	13	108	0,65
T5_2	10		108	0,65	T5_2	10		108	0,65
T6_1	8	23	153	0,92	T6_1	8	23	153	0,92
T6_2	8		153	0,92	T6_2	8		153	0,92
T7_1	5	7	29	0,18	T7_1	7	7	41	0,25
T7_2	8		47	0,28	T7_2	8		47	0,28

Fonte: Elaboração própria

## CAPÍTULO 8 – DISCUSSÃO DE RESULTADOS

No âmbito dos resultados obtidos com a aplicação do método REBA às tarefas realizadas pelos militares de uma equipa de CAU (APÊNDICE H), era expectável que os valores finais de pontuação fossem significativamente elevados. Tal expectativa justifica-se pelo facto de, para efeito da análise, ter sido seleccionada, em cada tarefa, a postura mais exigente realizada pelos militares, ou seja, aquela que representa o maior grau de sobrecarga postural e, conseqüentemente, o maior risco de desenvolvimento de LME.

## 8.1. Análise Ergonómica com Base na Pontuação REBA

A avaliação ergonómica das tarefas desempenhadas pelo "Ponta" no contexto de CAU revela uma exposição frequente a riscos de natureza músculo-esquelética, com base nos valores obtidos através do método REBA. Os *scores* finais oscilam entre 3 e 10, com várias tarefas a atingirem o nível máximo da escala utilizada, refletindo situações que requerem uma intervenção necessária.

As tarefas T1\_1, T3\_1 e T5\_1 destacam-se com uma pontuação de 10, correspondendo a um risco alto. Estas tarefas envolvem flexão do tronco, elevação dos braços ao nível dos ombros com carga e postura extrema dos punhos. Segundo Freitas & Cordeiro, 2013, estas ações impõem uma exigência maior aumentando o desgaste, a fadiga e, por conseguinte, a probabilidade de ocorrência de lesões.

Mesmo em tarefas com pontuações mais baixas, como a T2\_1 (6 pontos) e T4\_2 (7 pontos), observam-se posturas que, embora de risco médio, podem gerar fadiga quando repetidas ou mantidas por períodos prolongados, especialmente em cenários operacionais com duração alargada e poucas oportunidades de recuperação postural.

Relativamente às tarefas associadas à função do "Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra", demonstra uma exposição relevante a riscos LME, com *scores* que variam entre 8 e 10. A repetição de pontuações elevadas em várias tarefas indica a existência de posturas com elevado grau de exigência biomecânica, muitas vezes sustentadas por longos períodos, o que reforça a necessidade de intervenção preventiva.

Tarefas como T1, T3, e T5 obtiveram o *score* máximo (REBA = 10), em ambas as repetições traduzindo cenários operacionais em que se verifica uma combinação de flexão acentuada do tronco, ativação contínua dos membros inferiores e elevação dos braços em posturas táticas. Estes fatores, conjugados com a pressão de manter o controlo da esquadra, intensificam o esforço físico.

Embora tarefas como a T2\_1, T4, T6\_2 ou T7 apresentem pontuações mais baixas (REBA = 8), mantêm, ainda assim, um grau de risco alto.

Na função do "Brecha" são apresentados *scores* finais que variam entre 5 e 10 pontos, o que revela um nível de risco médio a alto. Tarefas como a T2\_2 e a T5 obtiveram a pontuação máxima, demonstrando posturas críticas em que se verificam flexões do tronco, ativação dos membros inferiores e esforço dos membros superiores, nomeadamente ombros, antebraços e punhos.

A análise revela também que, mesmo em tarefas com *scores* mais reduzidos, como a T4\_1 (7 pontos) e T7\_1 (5 pontos), permanecem condições de risco médio.

A função do “Apoio Brecha/ Tail Gunner”, desempenha um papel essencial no encerramento e proteção das formações em AU. Esta posição implica vigilância contínua sobre os setores da retaguarda. A análise efetuada através do método REBA permitiu identificar níveis de risco ergonómico entre 7 e 10, com uma maioria de tarefas a situar-se na faixa superior da escala, conforme a função do “Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra”.

Tarefas como T2, T3\_1 e T5 atingiram o *score* máximo (REBA = 10). Estes dados refletem exigências físicas complexas, resultantes da necessidade de observação em várias direções, manuseamento de armamento em posição defensiva e movimentação em ambientes confinados.

Mesmo tarefas com *scores* mais baixos, como a T7\_1 (REBA = 7), demonstram um nível de risco médio. De salientar que esta função requer elevada capacidade de adaptação, pois deve manter a coesão do grupo, garantir a segurança da retaguarda e estar preparado para transitar rapidamente para tarefas ofensivas. Esta exigência contínua de prontidão tática e técnica, associada a posturas assimétricas, constitui um fator de risco que não deve ser subestimado.

## **8.2. Análise Ergonómica Aprofundada com Base no Score de Risco Normalizado**

A análise ergonómica desenvolvida neste estudo com recurso ao método REBA e enriquecida pela introdução dos indicadores compostos SR e SRn, permitiu uma identificação mais realista, da brevidade das tarefas que necessitam de intervenção prioritária, integrando o tempo de execução de cada tarefa através da fórmula apresentada pelo SRn.

A tarefa T1 (Abordagem ao edifício) revelou níveis de risco elevados, com valores de SRn entre 0,77 e 0,97. Esta ação é caracterizada por uma marcha acelerada, realizada numa postura não natural, com o tronco ligeiramente inclinado para a frente, os joelhos em leve flexão e o peso do armamento suportado pelos membros superiores. Esta combinação resulta numa sobrecarga significativa ao nível das articulações, particularmente da coluna lombar e dos ombros, potenciando o risco de LME.

De igual forma, a tarefa T2 (Entrada no edifício) apresentou valores de SRn expressivos, oscilando entre 0,58 e 1,00, sendo este último registado nas funções de “Brecha” e “Apoio Brecha/Tail Gunner”. Esta tarefa implica uma transição rápida do

exterior para o interior, exigindo que o militar mantenha uma postura de prontidão, com os membros superiores e inferiores em constante tensão, para responder a ameaças inesperadas.

A tarefa T3 (Limpeza dos compartimentos) registou igualmente valores de SRn muito elevados ( $\geq 0,87$ ), atingindo o valor máximo de 1.00 na função “Apoio Brecha/Tail Gunner”. Esta tarefa exige deslocações curtas e rápidas, alternância entre flexão das pernas, flexão do tronco e manuseio de armamento em espaços confinados. A constante vigilância e prontidão para reagir ao contacto, em conjugação com o contexto físico da tarefa, contribuem para um nível de exigência elevado.

Já a tarefa T4 (Saída do edifício) apresentou valores de SRn mais variáveis, entre 0,25 e 0,77, o que se explica parcialmente pelo tempo intermédio de execução (17 segundos). Esta tarefa ocorre após esforços acumulados no interior do edifício e exige a retoma do deslocamento tático, mantendo a postura tática, com atenção ao exterior e coordenação com o grupo. A exigência de controlo visual e cinestésico pode comprometer a postura natural da marcha, aumentando o risco de sobrecarga postural.

Relativamente à tarefa T5 (Marcha fletida), embora os valores de SRn se situem entre 0,57 e 0,65, o risco associado não pode ser desconsiderado. Esta tarefa, executada em apenas 13 segundos, obriga o militar a deslocar-se de forma continuamente baixa, implicando um esforço significativo para os grupos musculares dos membros inferiores e região lombar, especialmente se repetida sucessivas vezes durante a missão.

De todas as funções analisadas, a tarefa T6 (Técnica de fatiar à janela) destacou-se como uma das mais críticas, com valores de SRn  $\geq 0,89$  e atingindo SRn = 1.00 nas funções de “Ponta” e “Apoio Ponta/Cmdt Esq”. Esta tarefa implica manter o tronco em flexão e rotação durante um período prolongado (23 segundos), em posição dinâmica e estática sob tensão operacional, o que agrava de forma significativa a carga física acumulada.

Em contraste, a tarefa T7 (Deslocamento tático) apresentou valores de SRn consistentemente inferiores a 0,3, o que se justifica pelo curto tempo de execução (7 segundos) e pela menor exigência postural. Trata-se de uma tarefa rápida e com reduzido impacto.

Estes resultados evidenciam que o risco não deve ser avaliado apenas pela intensidade da postura, mas também pela duração da exposição, uma vez que é esta combinação que potencia o carácter cumulativo das LME. Como sublinhado pela IGAS (2018), a repetição ou manutenção de posturas exigentes, mesmo que breves, pode desencadear processos lesivos de natureza cumulativa.

Assim, as tarefas com maior exigência, como a técnica de fatiar a janela, limpeza dos compartimentos, a abordagem ao edifício e a entrada no edifício, devem ser alvo de atenção prioritária. Recomenda-se, para estas, a formação técnica centrada em posturas adequadas, para além da adaptação dos equipamentos utilizados, tanto no peso, design e ajustabilidade, com vista à redução da carga física acumulada e à prevenção de LME.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve por base a constatação de que o CAU coloca exigências físicas intensas sobre os militares, gerando frequentemente sobrecarga biomecânica e aumentando o risco de LMERT. O problema investigado focou-se na elevada probabilidade de ocorrência destas lesões durante a execução de TC neste tipo de ambiente, procurando identificar os fatores de risco mais significativos. Para isso, estabeleceu-se como OG a análise ergonómica das tarefas críticas no CAU, com o propósito de identificar os riscos posturais e de movimento mais críticos, e propor melhorias concretas que favorecessem a segurança e o desempenho operacional dos militares.

O percurso da investigação permitiu responder aos OE definidos, bem como à questão central: Quais as exigências físicas das tarefas críticas no CAU? Em primeiro lugar, identificaram-se as tarefas com maior exigência física (OE1), nomeadamente: abordagem, entrada e saída do edifício, limpeza de compartimentos, marcha fletida, fatiar a janela e o deslocamento tático. Estas tarefas revelaram-se frequentes nas missões e destacaram-se pelo esforço físico que requerem.

Seguiu-se a análise das posturas e dos movimentos envolvidos (OE2 e OE3). Com base na aplicação do método REBA e no uso de sensores de movimento, constatou-se que os militares assumem frequentemente posturas de risco elevado, como flexão prolongada do tronco, elevação repetida dos membros superiores (para manter a arma em posição) e deslocamentos em posições agachadas. Estas posturas, somadas a movimentos bruscos e transições rápidas, típicas do CAU, implicam uma carga biomecânica acentuada, sobretudo a nível das articulações dos membros inferiores e da zona lombar.

Na análise da carga física (OE4), confirmou-se que estas exigências são agravadas pela duração e repetição das tarefas. Quando mantidas por tempo prolongado, em especial sob carga externa, como o peso do equipamento, estas ações contribuem significativamente

para a fadiga e o risco de lesões. Tal cenário justifica a necessidade urgente de treino físico adaptado e de estratégias preventivas específicas.

Os resultados obtidos apontam para a necessidade de medidas institucionais que integrem a ergonomia no treino e na preparação operacional. É fundamental que os programas de treino incluam exercícios focados no reforço dos grupos musculares mais exigidos pelas TC, bem como na adoção de técnicas posturais adequadas.

Sugere-se, ainda, que se apliquem práticas como a alternância de funções entre militares durante missões mais longas e a introdução de pausas operacionais planejadas, evitando a sobrecarga contínua. Do ponto de vista material, importa melhorar o design e a leveza do equipamento individual, reduzindo o impacto físico sobre o militar sem comprometer a sua proteção.

Como qualquer trabalho empírico, este estudo apresenta limitações que importa reconhecer. A amostra foi reduzida, composta por apenas uma equipa de quatro militares, o que limita a generalização dos resultados. A simulação experimental decorreu em ambiente controlado e teve curta duração (dois minutos), não abrangendo a complexidade e a imprevisibilidade de missões reais.

Acresce que a análise se centrou nos fatores de risco biomecânicos, não incluindo parâmetros fisiológicos e psicológicos, que também influenciam o desempenho. Além disso, nem todas as tarefas operacionais do CAU foram incluídas, deixando margem para investigações complementares.

Tendo em conta essas limitações, recomenda-se que futuros estudos envolvam um maior número de participantes, provenientes de diferentes unidades e com perfis variados. É igualmente importante realizar simulações mais longas e exigentes, representativas de operações reais, bem como integrar indicadores fisiológicos complementares (por exemplo, monitorização da frequência cardíaca, avaliação de fadiga muscular).

Será também útil testar intervenções específicas, como novos programas de treino ou equipamentos melhorados, através de estudos longitudinais que acompanhem os seus efeitos na saúde e no desempenho dos militares.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agência Europeia para a Segurança e Saúde no Trabalho. (2007). *Introdução às lesões músculo-esqueléticas*. <https://osha.europa.eu/pt/publications/factsheets/71>
- Almeida, J. (2023). *Impacto das exigências do equipamento individual no desempenho físico em operações militares em ambiente urbano* [Mestrado em Ciências Militares na especialidade de Infantaria, Academia Militar, Lisboa]. Academia Militar.
- Alves, J. (2022). *Physical Employment Standards para o Combate em Ambiente Urbano* [Mestrado em Ciências Militares na especialidade de Infantaria, Academia Militar, Lisboa]. Academia Militar.
- Billing, D. C., Silk, A. J., Tofari, P. J., & Hunt, A. P. (2015). Effects of military load carriage on susceptibility to enemy fire during tactical combat movements. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001036>
- Blount, E. M., Ringleb, S. I., Tolk, A., Bailey, M., & Onate, J. A. (2013). Incorporation of physical fitness in a tactical infantry simulation. *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 10(3), 235–246. <https://doi.org/10.1177/1548512911421343>
- Boffey, D., Harat, I., Gepner, Y., Frosti, C. L., Funk, S., & Hoffman, J. R. (2019). The Physiology and Biomechanics of Load Carriage Performance. *Military Medicine*, 184(1–2), E83–E90. <https://doi.org/10.1093/milmed/usy218>
- Bryant, P. R., Tharion, W. J., & Leggieri, M. J. (2015). Soldier load carriage: Historical, physiological, biomechanical, and medical aspects. *Military Medicine*, 180(1), 123-134.
- Bullock, S. H., Jones, B. H., Gilchrist, J., & Marshall, S. W. (2010). Prevention of Physical Training-Related Injuries. *American Journal of Preventive Medicine*, 38(1S), S156– S181. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2009.10.023>
- ButturaChrusciak, C., Poncini, C. R., Moggio, I. H., Yasue, J. E., & Bitencourt, R. S. (2020). *Ergonomia e fatores humanos: um panorama das definições com base na literatura*. <https://revistaacaoergonomica.org/article/10.17648/rea.v14i1-12/pdf/abergo-14-1-62.pdf>
- Chiari, L., Della Croce, U., Leardini, A., & Cappozzo, A. (2005). Human movement analysis using stereophotogrammetry: Part 2: Instrumental errors. *Gait & Posture*, 21(2), 197– 211. <https://doi.org/10.1016/J.GAITPOST.2004.04.004>
- Clemente-Suárez, V. J., & Robles-Pérez, J. J. (2013). Respuesta psico-fisiológica de soldados en combate urbano. *Anales de Psicología*, 29(2), 598-603. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.2.150691>

- Damião, B. C. (2023). *Identificação de fatores de risco de lesões músculo-esqueléticas na guarnição do Carro de Combate Leopard 2 A6* [Mestrado em Ciências Militares na especialidade de Cavalaria, Academia Militar, Lisboa]. Academia Militar.
- David, G. C. (2005). Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occupational Medicine*, 55(3), 190–199. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqi082>
- De la Motte, S. J., Lisman, P., Gribbin, T. C., Murphy, K., & Deuster, P. A. (2019). A systematic review of the association between physical fitness and musculoskeletal injury risk: Part 3—Flexibility, power, speed, balance, and agility. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(6), 1723–1735. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002382>
- Donelan, J. M., Kram, R., & Kuo, A. D. (2001). Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 268(1480), 1985–1992. <https://doi.org/10.1098/rspb.2001.1761>
- Escola Prática de Infantaria [EPI]. (1993). *Pelotão e Secção de Atiradores* (Vol. 1).
- Estado-Maior do Exército [EME]. (2011). *PDE 3-07-14 Manual de Combate em Áreas Edificadas*.
- Fish, L., & Scharre, P. (2018). The soldier's heavy load. Center for a New American Security. [https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/hero/documents/CNAS\\_Super-Soldiers\\_4\\_Soldiers-Heavy-Load-FINAL-2.pdf](https://s3.us-east-1.amazonaws.com/files.cnas.org/hero/documents/CNAS_Super-Soldiers_4_Soldiers-Heavy-Load-FINAL-2.pdf)
- Foulis, S. A., Redmond, J. E., Frykman, P. N., Warr, B. J., Zambraski, E. J., & Sharp, M. A. (2017). U.S. Army Physical Demands Study: Reliability of Simulations of Physically Demanding Tasks Performed by Combat Arms Soldiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(12), 3245–3252. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001894>
- Freitas, L. C., & Cordeiro, T. C. (2013). *Segurança e saúde do trabalho: Guia para micro, pequenas e médias empresas* (ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho (ed.)).
- Freixo, M. J. V. (2012). *Metodologia Científica: Fundamentos, Métodos e Técnicas* (4.<sup>a</sup> ed.). Epistemologia e sociedade.
- Friedl, K. E. (2018). Military applications of soldier physiological monitoring. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(11), 1147-1153. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.06.004>
- Grooten, W. J. A., & Elin, J. (2018). Observational Methods for Assessing Ergonomic Risks for Work-Related Musculoskeletal Disorders. A Scoping Review. *Revista Ciencias de la Salud*, 16(Special Issue), 8–38. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/revsalud/a.6840>
- Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2008). *Biomechanical Basis of Human Movement* (Third Edit). Lippincott Williams & Wilkins.

- Headquarters Department of the Army, & Marine Corps, U. S. (2022). *Urban Operations*. <https://armypubs.army.mil>
- Hignett, S., & Mcatamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, 201–205.
- Holowka, N. B., Kiesel, K. B., & Ringleb, S. I. (2016). The effects of ergonomic intervention on the biomechanics of military personnel. *Ergonomics*, 59(5), 675-682.
- Inspeção Geral das Atividades em Saúde [IGAS]. (2018). Manual de Segurança e Saúde no Trabalho. Em *Inspeção Geral das Atividades em Saúde*. [https://www.igas.min-saude.pt/wp-content/uploads/2017/04/Manual\\_Seguranca\\_e\\_saude\\_no\\_trabalho.pdf](https://www.igas.min-saude.pt/wp-content/uploads/2017/04/Manual_Seguranca_e_saude_no_trabalho.pdf)
- Instituto Universitário Militar [IUM]. (2019). *Orientações metodológicas* (2.<sup>a</sup> ed.).
- Jia-Yong, Z., Ye, L. I. U., Xin-Min, M. O., Chong-Wei, H. A. N., Xiao-Jing, M., Qiang, L. I., Yue-Jin, W., & Ang, Z. (2020). A preliminary study of the military applications and future of individual exoskeletons. *Journal of Physics: Conference Series*, 1507(10). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1507/10/102044>
- Jones, B. H., Perrotta, D. M., Canham-Chervak, M. L., Nee, M. A., & Brundage, J. F. (2000). Injuries in the military: A review and commentary focused on prevention. *American Journal of Preventive Medicine*, 18(3, Suppl.), 71–84. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(99\)00169-5](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(99)00169-5)
- Kilcullen, D. (2013). *Out of the mountains: The coming age of the urban guerrilla*. Oxford University Press.
- King, A. C. (2016). *Close quarters battle: Urban combat and “special forcification”*
- Knapik, J. J., Sharp, M. A., Canham-Chervak, M., Hauret, K., Patton, J. F., & Jones, B. H. (2004). Risk factors for training-related injuries among men and women in basic combat training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 654-660.
- Lampton, D. R., Clark, B. R., & Knerr, B. W. (2003). Urban Combat: The Ultimate Extreme Environment. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 7(2). <https://doi.org/10.7771/2327-2937.1036>
- Larsson, J., Dencker, M., Olsson, M. C., & Bremander, A. (2020). Development and application of a questionnaire to self-rate physical work demands for ground combat soldiers. *Applied Ergonomics*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.103002>
- Larsson, J., Olsson, M. C., Bremander, A., & Dencker, M. (2023). Physiological Demands and Characteristics of Movement During Simulated Combat. *Military Medicine*, 188(11-12), 3496-3505. <https://doi.org/10.1093/milmed/usac163>

- Li, G., & Buckle, P. (1999). Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics*, 42(5), 674–695. <https://doi.org/10.1080/001401399185388>
- Lovalekar, M., Hauret, K., Roy, T., Taylor, K., Blacker, S. D., Newman, P., Yanovich, R., Fleischmann, C., Nindl, B. C., Jones, B., & Canham-Chervak, M. (2021). Musculoskeletal injuries in military personnel—Descriptive epidemiology, risk factor identification, and prevention. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24, 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.03.016>
- Lovalekar, M., Sharp, M. A., Billing, D. C., Drain, J. R., Nindl, B. C., & Zambraski, E. J. (2018). International consensus on military research priorities and gaps — Survey results from the 4th International Congress on Soldiers’ Physical Performance. *Journal of Science and Medicine in Sport*. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.028>
- Mala, J., Szivak, T. K., Flanagan, S. D., Comstock, B. A., Laferrier, J. Z., Maresh, C. M., & Kraemer, W. J. (2015). The role of strength and power during performance of high-intensity military tasks under heavy load carriage. *United States Army Medical Department Journal*, 3–12.
- Marôco, J. (2018). *Análise estatística com o SPSS Statistics* (7th ed.). Produtos e Serviços de Estatística.
- Medby, J. J., & Glenn, R. W. (2002). Intelligence Preparation of the Battlefield for Urban Operations. In *Street Smart*. RAND Corporation. [https://www.rand.org/pubs/monograph\\_reports/MR1287.html](https://www.rand.org/pubs/monograph_reports/MR1287.html)
- Mvn, U. G., Biomech, M. V. N., Link, M. V. N., & Awinda, M. V. N. (2015). *MVN User Manual*. National Strength and Conditioning Association [NSCA]. (2017). *NSCA’s Essentials of Tactical Strength and Conditioning. 1*, 28–48.
- NATO Parliamentary Assembly. (2020). *Urban warfare*. NATO Parliamentary Assembly. <https://www.nato-pa.int/document/2020-revised-report-urban-warfare-michel-kleisbauer-040-stctts-20-e-rev1>
- Neumann, D. A. (2002). *Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Physical Rehabilitation* (First Edit). Mosby.
- Neumann, D. A. (2010). *Kinesiology of the musculoskeletal system: Foundations for rehabilitation* (2nd ed.). Mosby/Elsevier.
- Nevin, J. (2017). The tactical athlete: optimizing physical preparedness for the demands of combat. *Professional Strength & Conditioning*, 44, 25–34.

<https://www.uksga.org.uk/uksga-iq/article/1779/the-tactical-athlete-optimising-physical-preparedness-for-the-demands-of-combat>

- Nindl, B. C., Williams, T. J., Deuster, P. A., Butler, N. L., & Jones, B. H. (2013). Strategies for optimizing military physical readiness and preventing musculoskeletal injuries in the 21st century. *US Army Medical Department Journal*, 2013, 5-23.
- North Atlantic Treaty Organization [NATO]. (2015). *Urban combat advanced training technology*. NATO Science and Technology Organization. <https://www.sto.nato.int>
- North Atlantic Treaty Organization [NATO]. (2020). *Urban warfare* (Relatório STCTTS 20 E REV1). NATO Parliamentary Assembly. <https://www.nato-pa.int/document/2020-revised-report-urban-warfare-michel-kleisbauer-040-stctts-20-e-rev1>
- Pedro, B., Assunção, A., Carnide, F., Damião, B., Lucena, R., Almeida, N., Simões, P., & Veloso, A. P. (2024). Risk factors associated with musculoskeletal injuries within the crew of the Leopard 2 A6 main battle tank using inertial movement unit sensors: A pilot study. *Sensors*, 24(14), 4527. <https://doi.org/10.3390/s24144527>
- Pombeiro, A. S. S. (2011). *A Utilização de Esquemas de Rotatividade de Tarefas na Prevenção das Lesões Músculo-Esqueléticas*. Universidade do Porto.
- Punnett, L., & Wegman, D. H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2003.09.015>
- Quivy, R., & Campenhoudt, L. (1995). *Manual de Investigação em Ciências Sociais* (Gradiva, Ed.; 4th ed.).
- Reis, F. L. (2022). *Investigação Científica e Trabalhos Académicos* (2.<sup>a</sup> ed.). Edições Sílabo.
- Roetenberg, D., Luinge, H., & Slycke, P. (2009). Xsens MVN: Full 6DOF human motion tracking using miniature inertial sensors. *Xsens Technologies*. [www.xsens.com](http://www.xsens.com)
- Rosado, D. P. (2017). *Elementos Essenciais de Sociologia Moderna*. Gradiva.
- Santos, J. (2021). *Identificação de Requisitos para Desenvolvimento de Exosqueletos*. Mestrado em Ciências Militares na especialidade de Infantaria, Academia Militar.
- Santos, M. (2020). Métodos para detetar o Risco de surgirem Lesões Músculo-Esqueléticas relacionadas com o Trabalho- sabemos o suficiente? *Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional*, 10, 1–66. <https://doi.org/10.31252/rpso.18.07.2020>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2012). *Research Methods for Business Students* (Sixth Edit). Pearson Education.
- Seely, R. R., Stephens, T. D., & Tate, P. (2005). *Anatomia & Fisiologia* (6.<sup>a</sup> ed.). Lusociência - Edições Técnicas e Científicas, Lda.

- Semeraro, H. D., Bevis, Z. L., Rowan, D., van Besouw, R. M., & Allsopp, A. J. (2015). Fit for the Frontline? Identification of Mission-Critical Auditory Tasks (MCATs) Carried Out by Infantry and Combat-Support Personnel. *Noise and Health*, 17(75), 98–107. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.153401>
- Stein, J. A., Hepler, T. C., Cosgrove, S. J., & Heinrich, K. M. (2021). Critical Tasks From the Global War on Terror: A Combat-Focused Job Task Analysis. *Applied Ergonomics*, 95, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103465>
- Suárez, V., & Pérez, J. (2013). Mechanical, Physical, and Physiological Analysis of Symmetrical and Asymmetrical Combat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2420–2426. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828055e9>
- Taanila, H., Suni, J. H., Kannus, P., Pihlajamäki, H., Ruohola, J. P., Viskari, J., & Parkkari, J. (2015). Risk factors of acute and overuse musculoskeletal injuries among young conscripts: a population-based cohort study. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 16. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0557-7>
- The Eastman Kodak Company. (2004). *Kodak's Ergonomic Design for People at Work* (2.<sup>a</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Tipton, M. J., Milligan, G. S., & Reilly, T. J. (2013a). Physiological Employment Standards I. Occupational Fitness Standards: Objectively Subjective? *European Journal of Applied Physiology*, 113(10), 2435–2446. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2569-4>
- Universidade Estadual de Campinas. (2001). *Manual sobre ergonomia*. Oficinas Gráficas da UNICAMP. [https://www.academia.edu/34159931/Manual\\_de\\_ergonomia\\_explicada\\_DA\\_UNICAMP](https://www.academia.edu/34159931/Manual_de_ergonomia_explicada_DA_UNICAMP)
- Uva, A. S., Carnide, F., Serranheira, F., Miranda, L. C., & Lopes, M. F. (2008). Lesões Musculoesqueléticas Relacionadas com o Trabalho: Guia de Orientação para a Prevenção. Em *Programa Nacional Contra as Doenças Reumáticas - Direção Geral de Saúde*. Gráfica Miradouro, S.A. <https://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/lesoes-musculoesqueleticas-relacionadas-com-o-trabalho-pdf.aspx>
- Vaara, J. P., Groeller, H., Drain, J., Kyröläinen, H., Pihlainen, K., Ojanen, T., Connaboy, C., Santtila, M., Agostinelli, P., & Nindl, B. C. (2022). Physical training considerations for optimizing performance in essential military tasks. *European Journal of Sport Science*, 22(1), 43–57. <https://doi.org/10.1080/17461391.2021.1930193>
- Van Tiggelen, D., Wickes, S., Stevens, V., Roosen, P., & Witvrouw, E. (2008). Effective prevention of sports injuries: A model integrating efficacy, efficiency, compliance and risk-

- taking behaviour. *British Journal of Sports Medicine*, 42(8), 648–652.  
<https://doi.org/10.1136/bjism.2008.046441>
- Vautravers, A. (2010). Military operations in urban areas. *International Review of the Red Cross*, 92(878), 437–452. <https://doi.org/10.1017/S1816383110000366>
- Wong, L., Bliese, P., & McGurk, D. (2003). Military Leadership: A Context Specific Review. *The Leadership Quarterly*, 14(6), 657–692.  
<https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2003.08.001>
- Yancosek, K. E., Roy, T., & Erickson, M. (2012). Rehabilitation programs for musculoskeletal injuries in military personnel. *Current Opinion in Rheumatology*, 24(2), 232–236.  
<https://doi.org/10.1097/BOR.0b013e3283503406>

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – ARMAMENTO E EQUIPAMENTO

Tabela n.º 7 – Peso do Armamento e Equipamento de Combate

Designação	Representação (sem material acoplado)	Peso total (kg)
<b>Espingarda FN SCAR-L</b> c/ Designador Laser Rheinmettel LW, Lanterna Aimforce e Aimpoint CompM4 (carregador vazio)		4,49
<b>Espingarda FN SCAR-H</b> c/ Designador Laser Rheinmettel LW, Lanterna Aimforce e Trijicon VCOG (carregador vazio)		5,27
<b>Pistola Glock 17 Gen 5 FS</b> (carregador vazio)		0,64
<b>Capacete Team Wendy</b> c/ Braços/aranhas e Earmor M32		2,10
<b>Colete</b>		7,23
<b>Cinturão de Combate</b> c/ Porta carregadores da Espingarda, Porta carregadores de Pistola, Coldre, Drop Pouch, Torniquete e IFAK.		1,55

Fonte: Elaboração própria

## APÊNDICE B – DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES INERCIAIS (IMUS)



Figura n.º 6 – Posição dos Sensores Inerciais (IMUs) no Participante

## APÊNDICE C – CONSENTIMENTO INFORMADO

### Consentimento Informado Livre e Esclarecido

**Título do projeto:** Caracterização biomecânica de tarefas críticas no combate em ambiente urbano: análise cinemática e eletromiográfica

**Responsável pelo projeto:** Bruno Miguel Machado Pedro

**Equipa de Investigação:** Doutor Bruno Pedro, João Pedro Gomes Rodrigues Henriques Ramos, Marcelo dos Reis Antunes, Doutora Ana Assunção, Coronel Rui Lucena, Mestre Nuno Almeida e Professor Doutor António Prieto Veloso

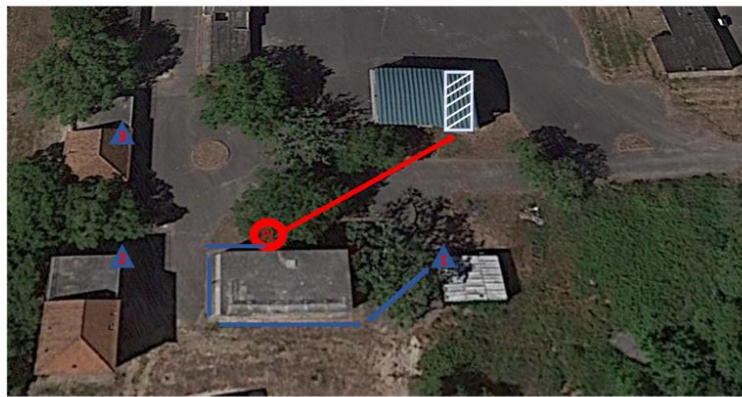
**Instituição de acolhimento:** Faculdade de Motricidade Humana – Universidade de Lisboa (Laboratório de Biomecânica e Morfologia Funcional)

Este documento, designado **Consentimento, Informado, livre e Esclarecido**, contém informação importante em relação ao estudo para o qual foi abordado/a, bem como o que esperar se decidir participar no mesmo. Leia atentamente toda a informação aqui contida. Deve sentir-se inteiramente livre para colocar qualquer questão, assim como para discutir com terceiros (amigos, familiares) a decisão da sua participação neste estudo.

Informação geral
Está a ser convidado a participar nas recolhas experimentais a realizar durante o Projeto do Trabalho de Investigação Aplicado do Mestrado em Ciências Militares, na especialidade de Infantaria da Academia Militar. O objetivo deste estudo é analisar as exigências cinemáticas e musculares através de eletromiográfica no decorrer de tarefas de transporte de feridos em diferentes indivíduos. A gravação do movimento será realizada com um sistema de sensores inerciais e a eletromiografia com sensores de eletromiografia. As recolhas serão realizadas na Aldeia de Camões em Mafra, onde terá lugar o circuito para recolha de dados, e nas infraestruturas da Academia Militar (AM) da Amadora para realização de testes e medições iniciais.
<b>Qual a duração esperada da minha participação?</b>
A duração da tarefa será de cerca de 50 minutos, 15-25 minutos para colocação dos sensores de análise de movimento, eletromiografia, contrações musculares de referência, 15 minutos para a realização da tarefa e 10 minutos para retirar os sensores.
<b>Quais os procedimentos do estudo em que vou participar?</b>
A avaliação consistirá em: (1) uma recolha de dados pessoais e antropométricos: idade, sexo, massa, altura (2) recolha e análise de dados de movimento durante a execução das tarefas críticas durante a prática de combate em áreas urbanas. Para realizar esta avaliação serão colados sensores de movimento em cada um dos segmentos do participante e sensores de eletromiografia em alguns músculos específicos do membro superior. Antes da tarefa propriamente dita serão colocados os sensores de captura de movimentos em cada um dos segmentos do corpo que serão reforçados com uma fita de velcro. Após a colocação dos sensores de movimento serão colocados os sensores de eletromiografia para registar a atividade elétrica dos músculos durante a realização da tarefa. Após esta colocação dos sensores serão efetuadas contrações voluntárias máximas de cada um dos músculos selecionados para análise e colocados bilateralmente nos músculos bicipite braquial, tricípite braquial, peitoral maior e dorsal.
A tarefa a realizar consiste no seguinte: Cada circuito consiste em três voltas ao redor do edifício, começando a partir de um ponto específico para iniciar o deslocamento tático. Ao

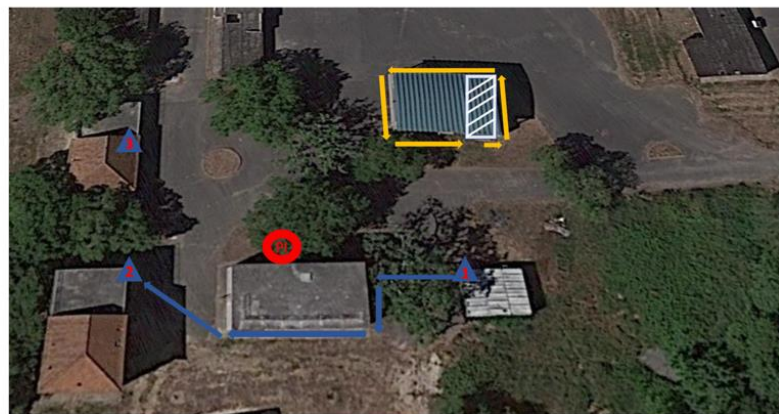
alcançar o ponto de entrada, os membros da equipa realizam a abertura manual das portas para limpar dois compartimentos. Em seguida, a equipa sai do prédio pela mesma porta e circula o edifício para repetir o procedimento de limpeza em mais duas ocasiões. Na última volta, após contornar o edifício, o participante avaliado deve realizar um transporte de feridos (simulado com um manequim pesando 85 kg) até ao ponto de partida, aproximadamente 25 metros. Nos percursos sem ameaça, o transporte do ferido é feito por um único elemento, enquanto nos circuitos com ameaça, essa tarefa é realizada por duas pessoas. Nos circuitos com possibilidade de ameaça, é solicitado que façam um disparo com munição de salva em resposta à ameaça, a fim de avaliar o tempo de reação e a capacidade de decisão de cada membro, conforme suas funções na equipa.

### CIRCUITO



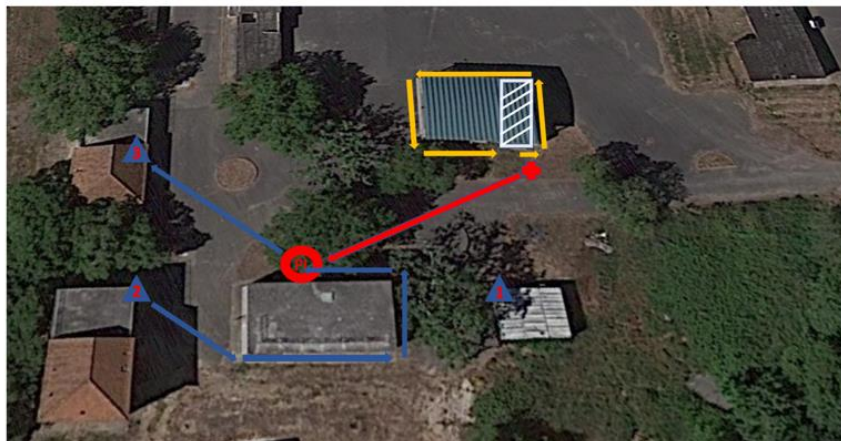
**Legenda:**

- PI - Ponto Inicial
- - Percurso da Equipa de Atiradores
- - Percurso do Atirador ML
- ▲ - Posições de Apoio Próximo para ML



**Legenda:**

- PI - Ponto Inicial
- - Percurso da Equipa de Atiradores
- - Percurso do Atirador ML
- ▲ - Posições de Apoio Próximo para ML



**Legenda:**

- PI - Ponto Inicial
- - Percurso da Equipa de Atiradores      → - Percurso do Atirador ML
- ▲ - Posições de Apoio Próximo para ML
- ✚ - Ferido a Transportar

**A minha participação é voluntária?**

A sua participação é voluntária e pode recusar-se a participar. Caso decida participar neste estudo é importante ter conhecimento que pode desistir a qualquer momento, sem qualquer tipo de consequência para si. No caso de decidir abandonar o estudo, a sua relação com a Academia Militar será afetada. Se for o caso, o seu estatuto enquanto estudante ou funcionário da Academia Militar será mantido e não sofrerá nenhuma consequência da sua não-participação ou desistência.

**Quais os possíveis benefícios da minha participação??**

Relatório detalhado do serviço de descrição dos movimentos realizados e participação muscular durante a atividade realizada e sugestões para um melhor desempenho.

**Quais os possíveis riscos da minha participação?**

Para garantir a segurança dos participantes, serão tomadas medidas para evitar qualquer risco acrescido para além do que já é esperado durante uma sessão típica de tarefas críticas que um indivíduo pratica durante o combate em áreas urbanas (CAU) em situação de treino. Não se prevê um aumento do risco durante o desempenho das tarefas em situação de recolha de dados.

**Quem assume a responsabilidade, no caso de um evento negativo?**

Professor Doutor Bruno Pedro (Docente do Laboratório de Biomecânica).

**Há cobertura por uma companhia de seguros?**

Os participantes estarão cobertos pelo subsistema de saúde público ADM – Assistência na Doença aos Militares.

**Quem deve ser contactado em caso de urgência?**

Nome: \_\_\_\_\_ Contato: \_\_\_\_\_

**Como é assegurada a confidencialidade dos dados?**

Para garantir a confidencialidade dos dados recolhidos, será atribuído um código a cada participante e a sua identidade não será divulgada em circunstância alguma. Apenas o investigador principal terá acesso aos dados recolhidos, incluindo dados de vídeo. Os dados serão armazenados num disco rígido, guardado no Gabinete dos Docentes de Biomecânica

da Faculdade de Motricidade Humana, acessível apenas ao investigador e à equipa de investigação, e o tratamento dos dados será também realizado exclusivamente pelo investigador principal.
<b>O que acontecerá aos dados quando a investigação terminar?</b>
Após a conclusão da investigação, os dados físicos recolhidos em papel serão destruídos e os dados digitais serão armazenados no Laboratório de Biomecânica utilizando códigos de identificação dos participantes para garantir a confidencialidade.
<b>Como irão os resultados do estudo ser divulgados e com que finalidades?</b>
Os resultados serão publicados numa dissertação de mestrado, garantindo sempre o anonimato dos participantes.
<b>Em caso de dúvidas quem devo contactar?</b>
Para qualquer questão relacionada com a sua participação neste estudo, por favor contacte: Bruno Pedro – Telemóvel: 917443691; E-mail: bmpedro@fmh.ulisboa.pt

## Assinatura do Consentimento Informado, Livre e Esclarecido

Li (ou alguém leu para mim) o presente documento e estou consciente do que esperar quanto à minha participação no estudo **Caracterização biomecânica de tarefas críticas no combate em ambiente urbano: análise cinemática e eletromiográfica.** Tive a oportunidade de colocar todas as questões e as respostas esclareceram todas as minhas dúvidas. Assim, aceito voluntariamente participar neste estudo. Foi-me dada uma cópia deste documento.

Nome do participante

Assinatura do participante

Nome do representante legal do participante  
(se aplicável)

Assinatura do representante legal  
(se aplicável)

Grau de relação com o participante  
(se aplicável)

Data  
(se aplicável)

Os aspetos mais importantes deste estudo foram explicados ao participante ou ao seu representante antes de solicitar a sua assinatura. Ser-lhe-á fornecida uma cópia deste documento.

Bruno Miguel Machado Pedro

Nome da pessoa que obtém o consentimento

Assinatura da pessoa que obtém o consentimento

Data

## APÊNDICE D – CARACTERIZAÇÃO DAS TAREFAS

Tabela n.º 8 – Imagens Representativas das Tarefas realizadas pelos militares

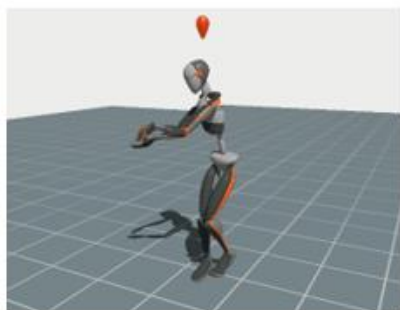
Tarefa 1 - Abordagem ao edifício



Tarefa 2 - Entrada no edifício



Tarefa 3 - Limpeza dos compartimentos



Tarefa 3 (Ponta) – Segurança retaguarda



Tarefa 4 - Saída do edifício



Tarefa 5 - Marcha fletida



Tarefa 6 - Técnica de fatiar a janela



Tarefa 7 - Deslocamento tático



## APÊNDICE E – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DOS NÍVEIS DE RISCO ERGONÓMICO

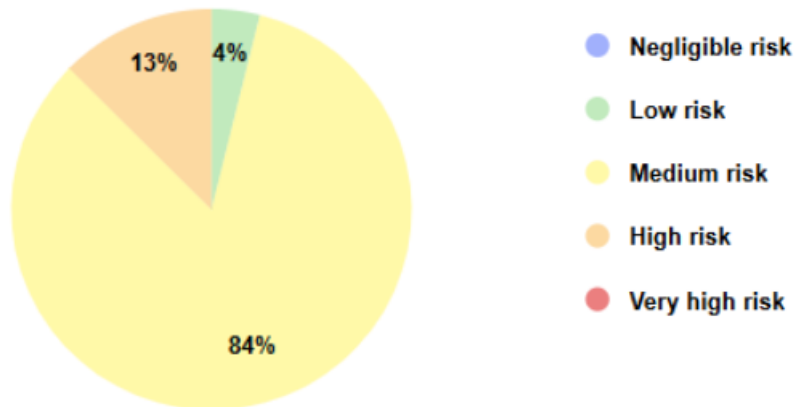


Figura n.º 7 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Ponta

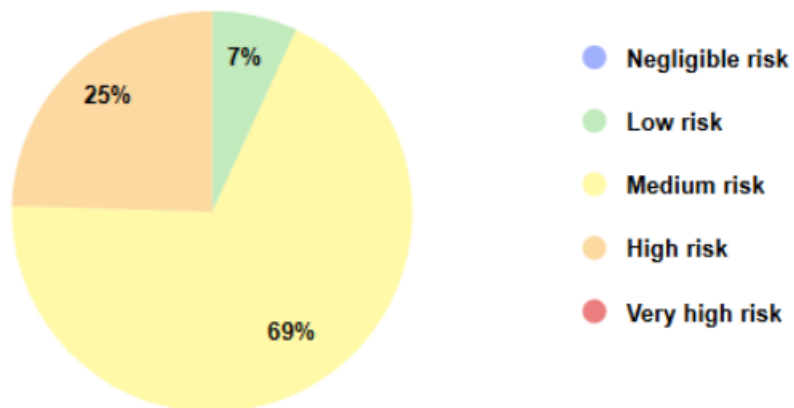


Figura n.º 8 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra

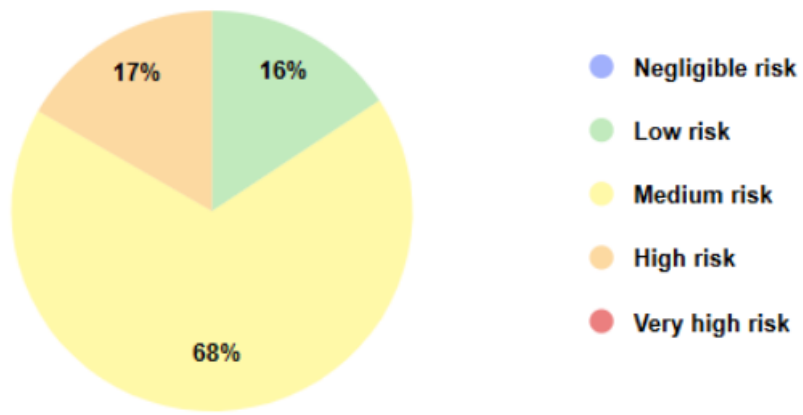


Figura n.º 9 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Brecha

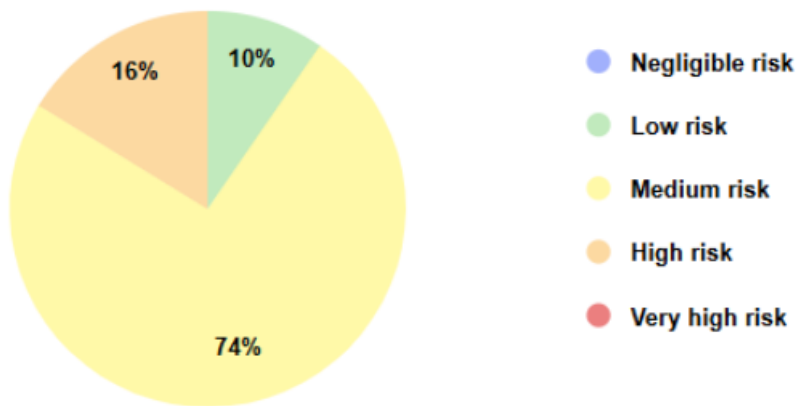
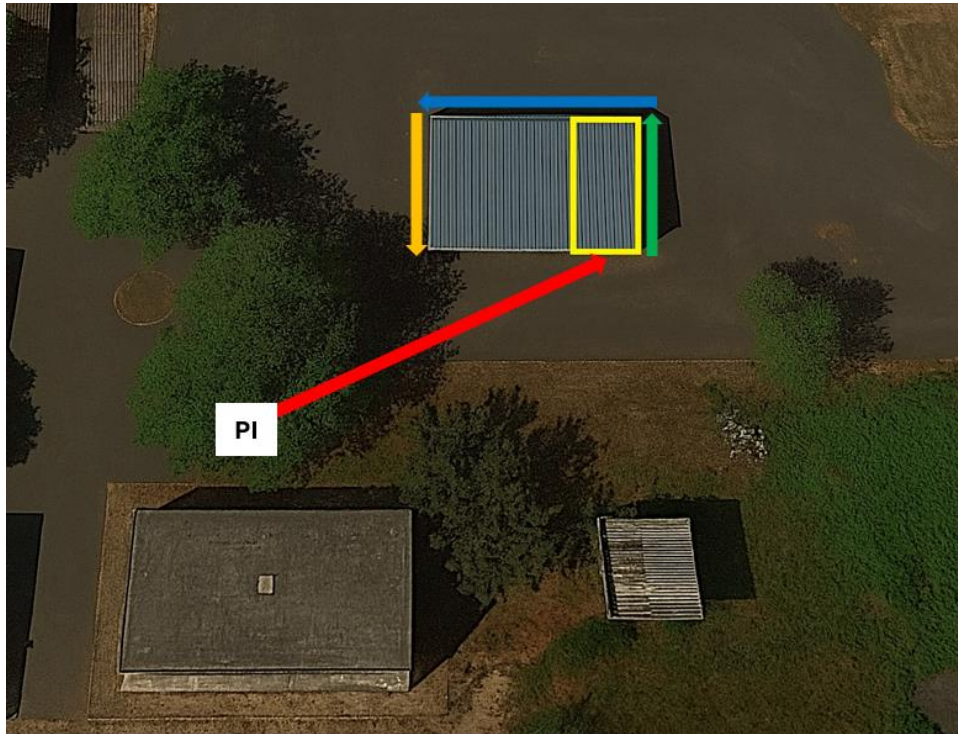


Figura n.º 10 – Percentagem dos níveis de risco ergonómico na execução da missão do Apoio Brecha/ Tail Gunner

## APÊNDICE F – CIRCUITO DE CAU



### Legenda

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>PI</b> Ponto Inicial                    | → Marcha fletida             |
| □ Compartmento a limpar                    | → Técnica de fatiar a janela |
| → Abordagem ao edifício em lanços apoiados | → Deslocamento tático        |

Figura n.º 11 – Croqui do Circuito de CAU

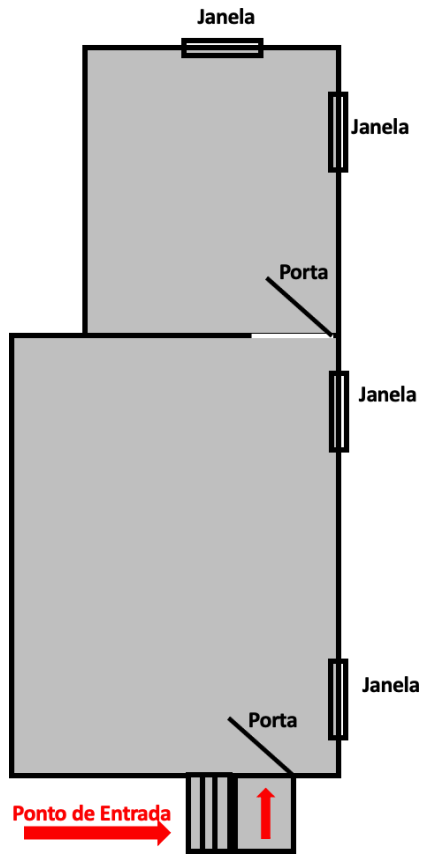
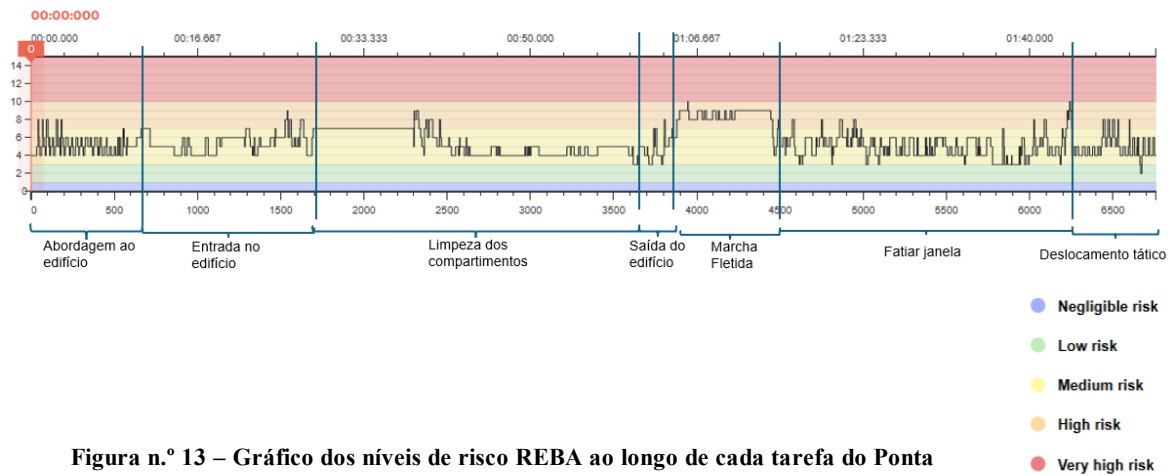
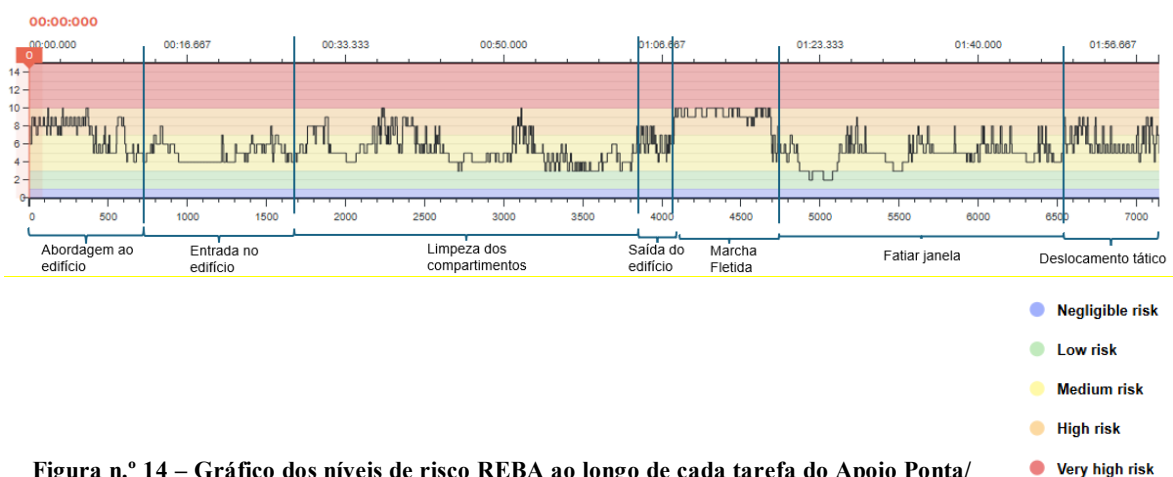


Figura n.º 12 – Croqui dos Compartimentos a Limpar

## APÊNDICE G – RISCO ERGONÓMICO NA EXECUÇÃO DAS TAREFAS CRÍTICAS



**Figura n.º 13 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Ponta**



**Figura n.º 14 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra**

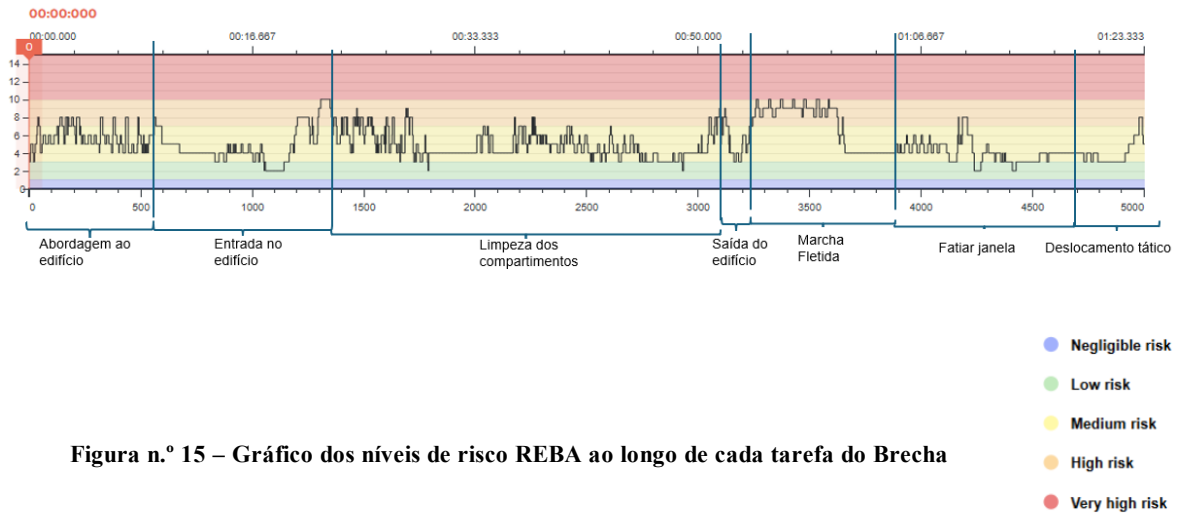


Figura n.º 15 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Brecha

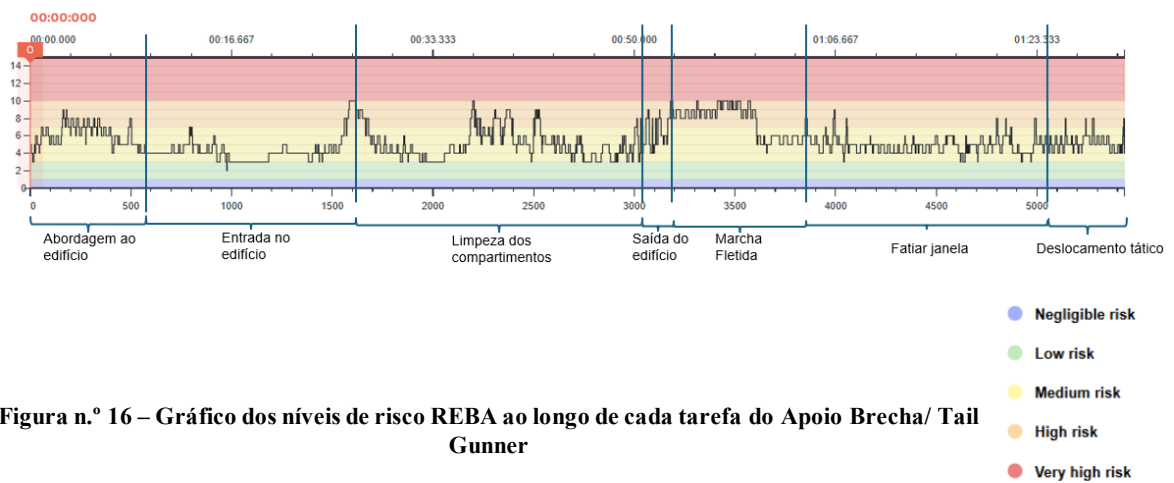


Figura n.º 16 – Gráfico dos níveis de risco REBA ao longo de cada tarefa do Apoio Brecha/ Tail Gunner

## APÊNDICE H – RESULTADOS DA AVALIAÇÃO ERGONÓMICA POR MEMBRO CORPORAL COM O MÉTODO REBA

Tabela n.º 9 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Ponta (Método REBA)

Ponta								
Tarefa	Pescoço	Tronco	Pernas	Força	Braço	Antebraço	Wrist	Score Final
T1_1	2	3	3	1	5	2	3	10
T1_2	2	2	3	1	3	2	2	8
T2_1	2	2	2	1	3	2	3	6
T2_2	1	3	3	1	4	2	3	9
T3_1	2	2	2	1	3	2	3	10
T3_2	2	2	3	1	5	2	2	9
T4_1	1	1	2	1	3	1	2	3
T4_2	2	2	3	1	3	1	2	7
T5_1	1	1	2	1	5	2	3	10
T5_2	2	3	3	1	4	2	2	9
T6_1	2	3	2	1	4	2	3	9
T6_2	2	2	2	1	4	2	3	8
T7_1	1	2	3	1	4	2	3	8
T7_2	2	2	3	1	3	2	2	8

Tabela n.º 10 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Apoio Ponta/ Comandante de  
Esquadra (Método REBA)

Apoio Ponta/ Comandante de Esquadra								
Tarefa	Pescoço	Tronco	Pernas	Força	Braço	Antebraço	Wrist	Score Final
T1_1	2	4	3	1	4	2	2	10
T1_2	2	4	3	1	4	2	2	10
T2_1	1	3	3	1	4	1	2	8
T2_2	2	3	3	1	3	2	2	9
T3_1	2	4	3	1	3	2	2	10
T3_2	3	3	3	1	3	2	2	10
T4_1	2	2	3	1	3	1	3	8
T4_2	3	2	3	1	3	1	2	8
T5_1	2	4	3	1	4	2	3	10
T5_2	2	4	3	1	5	2	2	10
T6_1	1	4	3	1	4	2	2	9
T6_2	1	3	3	1	4	2	2	8
T7_1	1	3	3	1	3	2	2	8
T7_2	1	3	3	1	3	2	2	8

Tabela n.º 11 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Brecha (Método REBA)

Brecha								
Tarefa	Pescoço	Tronco	Pernas	Força	Braço	Antebraço	Wrist	Score Final
T1_1	1	3	3	1	3	1	3	8
T1_2	2	2	3	1	3	2	2	8
T2_1	1	4	3	1	3	2	3	9
T2_2	2	4	3	1	3	2	2	10
T3_1	1	4	3	1	3	2	2	9
T3_2	2	3	3	1	3	2	2	9
T4_1	2	2	3	1	3	1	2	7
T4_2	3	2	3	1	3	2	2	9
T5_1	2	4	3	1	3	2	3	10
T5_2	2	4	3	1	3	2	2	10
T6_1	2	2	3	1	3	1	3	8
T6_2	3	2	2	1	3	1	3	8
T7_1	1	1	3	1	3	1	3	5
T7_2	1	3	3	1	3	2	2	8

Tabela n.º 12 – Avaliação Ergonómica por Membro Corporal na Função de Apoio Brecha/ Tail Gunner (Método REBA)

Apoio Brecha/ Tail Gunner								
Tarefa	Pescoço	Tronco	Pernas	Força	Braço	Antebraço	Wrist	Score Final
T1_1	1	3	3	1	4	2	2	8
T1_2	1	4	3	1	3	2	2	9
T2_1	3	4	3	1	3	2	2	10
T2_2	3	3	3	1	3	2	3	10
T3_1	3	3	3	1	4	1	2	10
T3_2	3	3	3	1	3	2	2	9
T4_1	3	2	3	1	3	1	3	9
T4_2	2	2	3	1	3	1	3	8
T5_1	2	4	3	1	3	2	3	10
T5_2	2	4	3	1	3	1	3	10
T6_1	3	2	2	1	3	1	3	8
T6_2	1	3	3	1	3	1	3	8
T7_1	3	2	2	1	4	2	2	7
T7_2	1	3	3	1	3	2	2	8

# ANEXOS

## ANEXO A – FOLHA DE REGISTO DO REBA

### REBA Employee Assessment Worksheet

Task Name:

Date:

#### A. Neck, Trunk and Leg Analysis

##### Step 1: Locate Neck Position



Step 1a: Adjust...  
If neck is twisted: +1  
If neck is side bending: +1

Neck Score

##### Step 2: Locate Trunk Position



Step 2a: Adjust...  
If trunk is twisted: +1  
If trunk is side bending: +1

Trunk Score

##### Step 3: Legs



##### Adjust:

Leg Score

##### Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Using values from steps 1-3 above, locate score in Table A

Posture Score A

##### Step 5: Add Force/Load Score

If load < 11 lbs.: +0  
If load 11 to 22 lbs.: +1  
If load > 22 lbs.: +2

Adjust: If shock or rapid build up of force: add +1

Force / Load Score

##### Step 6: Score A, Find Row in Table C

Add values from steps 4 & 5 to obtain Score A. Find Row in Table C.

Score A

##### Scoring

1 = Negligible Risk  
2-3 = Low Risk. Change may be needed.  
4-7 = Medium Risk. Further Investigate. Change Soon.  
8-10 = High Risk. Investigate and Implement Change  
11+ = Very High Risk. Implement Change

#### Scores

Table A		Neck											
		1				2				3			
Legs		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Trunk Posture Score	1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Table B		Lower Arm					
		1			2		
Wrist		1	2	3	1	2	3
Upper Arm Score	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	6	7	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Table C		Score B											
Score A		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8	
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8	
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9	
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10	
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11	
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11	
9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11	12	
10	10	10	10	10	11	11	11	11	11	12	12	12	
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	

Table C Score + Activity Score = REBA Score

#### B. Arm and Wrist Analysis

##### Step 7: Locate Upper Arm Position:



Step 7a: Adjust...  
If shoulder is raised: +1  
If upper arm is abducted: +1  
If arm is supported or person is leaning: -1

Upper Arm Score

##### Step 8: Locate Lower Arm Position:



Lower Arm Score

##### Step 9: Locate Wrist Position:



Wrist Score

Step 9a: Adjust...  
If wrist is bent from midline or twisted: Add +1

##### Step 10: Look-up Posture Score in Table B

Using values from steps 7-9 above, locate score in Table B

Posture Score B

##### Step 11: Add Coupling Score

Well fitting Handle and mid range power grip, **good: +0**  
Acceptable but not ideal hand hold or coupling acceptable with another body part, **fair: +1**  
Hand hold not acceptable but possible, **poor: +2**  
No handles, awkward, unsafe with any body part, **unacceptable: +3**

Coupling Score

##### Step 12: Score B, Find Column in Table C

Add values from steps 10 & 11 to obtain Score B. Find column in Table C and match with Score A in row from step 6 to obtain Table C Score.

Score B

##### Step 13: Activity Score

+1 1 or more body parts are held for longer than 1 minute (static)  
+1 Repeated small range actions (more than 4x per minute)  
+1 Action causes rapid large range changes in postures or unstable base

Original Worksheet Developed by Dr. Alan Hedge. Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 201-205

Figura n.º 17 – Folha de Registo do REBA