



## **ACADEMIA MILITAR**

**Análise e desenvolvimento do conceito de Exosqueleto para aplicação em ambiente operacional**

**Autor: Aspirante de Artilharia Rafael Ferreira**

**Orientador: Major de Material Luís Quinto**

**Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada**

**Lisboa, maio de 2019**



## **ACADEMIA MILITAR**

**Análise e desenvolvimento do conceito de Exosqueleto para aplicação em ambiente operacional**

**Autor: Aspirante de Artilharia Rafael Ferreira**

**Orientador: Major de Material Luís Quinto**

**Relatório Científico Final do Trabalho de Investigação Aplicada**

**Lisboa, maio de 2019**

## EPÍGRAFE

*“Never regret. If it's good, it's wonderful. If it's bad, it's experience.”*

Victoria Holt

## **DEDICATÓRIA**

Dedico ao grupo de trabalho formado por docentes e discentes da Academia Militar e Instituto Superior Técnico, pelo apoio e dedicação em tornar este projeto uma realidade.

## AGRADECIMENTOS

Uma investigação desta natureza conta sempre com a participação de alguns e contributo de muitos.

Nesse sentido, gostaria de agradecer, primeiramente, ao orientador Major Luís Quinto pelo esforço, tempo e incansável paciência demonstrados ao longo dos meses de trabalho, assim como pela sua dedicação no desenrolar do projeto. Pelo apoio na orientação do meu trabalho e pronta disponibilidade em ajudar nas diversas tarefas realizadas. Pelo respeito demonstrado a inferiores hierárquicos como eu. Tenho a sua opinião sempre em muita consideração, devido à sua mente aberta. Levo comigo lições de vida e profissionais aprendidas com ele, para além de um trabalho concluído com sucesso.

Ao Sérgio Gonçalves, doutorando do Instituto Superior Técnico (IST) e técnico do Laboratório de Biomecânica de Lisboa (LBL), por contribuir decisivamente na execução dos ensaios em laboratório e ajudar no processo de melhorias do exosqueleto existente, assim como estar presente em muitas ocasiões cruciais no desenvolvimento do trabalho.

Ao professor associado do IST Miguel Tavares da Silva, responsável pelo LBL, pelos preciosos contributos na estruturação da dissertação, apoio na conceção do projeto e disponibilidade em ajudar no desenvolvimento de todo o processo.

Agradecer ao Tenente Sequeira pela disponibilidade e apoio na aquisição de material e recursos na Escola das Armas em Mafra, para a medição de pesos e distâncias, essenciais ao estudo. Agradecer à Escola das Armas pela abertura e facilidade de acesso a material necessário à investigação.

Ao Laboratório de Biomecânica de Lisboa, pela disponibilização das suas instalações para a realização dos ensaios para avaliação do exosqueleto.

Agradecer ainda, à casa de ortopedia “ORTOMEDICINAL” e ao sr. Carlos pelo apoio técnico na colocação do revestimento interno do suporte do exosqueleto.

Aos voluntários do meu curso da Academia Militar, por participarem nos ensaios em laboratório, pelo seu tempo, esforço e vontade em ajudar um camarada, enaltecendo o espírito de camaradagem característico da nossa vertente militar.

A todos os militares participantes nos inquéritos e entrevistas não estruturadas, pela contribuição dos seus conhecimentos para a investigação.

À família e amigos que não contribuindo diretamente no estudo, contribuem indiretamente através da conjugação das suas preocupações com a sua curiosidade, que sempre confortam e motivam a continuação do trabalho.

O autor gostaria de agradecer ao Estado Maior do Exército, pelo apoio a esta investigação, através do CINAMIL, enquadrado no projeto de investigação “ELITE - Enhancement LITe Exoskeleton - Projeto e desenvolvimento de um exosqueleto para apoio ao movimento humano”.

O autor gostaria ainda de agradecer o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia a esta investigação, através do projeto LAETA (UID/EMS/50022/2019).

## RESUMO

Atualmente, o militar do Exército Português exerce funções que solicitam esforços superiores aos limites definidos tanto na legislação nacional como em estudos científicos neste âmbito. Ao artilheiro, nomeadamente da secção de bocas de fogo (bf) de uma Bateria de Artilharia de Campanha, é-lhe exigido que carregue, transporte e manuseie equipamento que, em algumas situações, ultrapassam os 40kg. Adicionalmente, a atividade militar implica grandes deslocamentos, envolvendo aumentos significativos de fadiga e potenciais riscos de lesão. Neste sentido, os exosqueletos emergem como uma solução viável à redução dos custos metabólicos destes militares.

O objetivo deste estudo é identificar os requisitos necessários à aplicação de um exosqueleto em ambiente operacional no âmbito da Artilharia de Campanha. Para isso, foi necessário o deslocamento a várias Unidades e a participação em dois Exercícios táticos e técnicos, de modo a recolher informação essencial ao trabalho, através de medições, observação e registo, e recorrendo a inquéritos. Os dados recolhidos foram processados através de métodos estatísticos. De seguida, foi analisado e evoluído um protótipo de um exosqueleto passivo para redução das necessidades metabólicas durante a marcha, tendo os ensaios decorrido no Laboratório de Biomecânica de Lisboa, no Instituto Superior Técnico. Entre as evoluções do conceito, destaca-se a redução em 10% da massa do protótipo e a criação de uma metodologia de preparação e execução dos ensaios, permitindo aumentar de forma muito significativa a repetibilidade e fiabilidade do conjunto.

Para ser aplicado no âmbito da Artilharia de Campanha, um exosqueleto deve apoiar o utilizador na marcha e corrida e na movimentação manual de cargas, devendo proporcionar elevada mobilidade, autonomia e robustez. O trabalho experimental revelou a redução das necessidades metabólicas durante a marcha dos três sujeitos, com valores entre -6,1% e -0,8%, com uma média de 4%, registando-se uma elevada fiabilidade do sistema. A seleção da mola deve ser feita de acordo com cada indivíduo, de modo a otimizar o funcionamento do exosqueleto.

**Palavras-chave:** Exosqueleto, Exosqueleto Passivo, Artilharia de Campanha, Custos Metabólicos, Requisitos Operacionais.

## ABSTRACT

Currently, the soldier of the Portuguese Army is sought to perform activities that require a high level of physical effort. Such efforts are not advised by health and safety authorities, as well as in studies referring this issue. The campaign artillery soldier must carry and handle equipment that sometimes surpasses 40kg. Additionally, the very fact of being a soldier implies walking and running for long periods of time, increasing fatigue and potential risk of injury. Thus, exoskeletons come as a reliable solution for reducing the metabolic costs of these soldiers.

The purpose of this work is to identify the requirements for the application of an exoskeleton into the artillery activities in a war scenario. To do so, information and data was acquired in several military facilities and during two Field Training Exercises, through measurements, observation and inquiries. The collected data was processed using statistical methods. Then, a lower limb passive exoskeleton developed to reduce metabolic costs during gait, was analyzed and evolved, to improve its reliability and overall performance, being tested in the Laboratório de Biomecânica de Lisboa, in the Instituto Superior Técnico. Among the improvements of the exoskeleton, stands out a reduction of 10% in its weight and the implementation of a more solid methodology for the trials, highly increasing its reliability and repeatability.

For an exoskeleton to be used in a war scenario, it must fulfill certain requirements such as helping its user walking and carrying loads. It also has to have mobility, autonomy and robustness. As for the experimental trials with the exoskeleton, results show the reduction of the metabolic costs during walking for the 3 individuals. These reductions vary between -6,1% and -0,8% with an average reduction of -4,0%. The springs showing the most significant reduction are not the same for each user, suggesting that springs should be selected according to its user.

**Keywords:** Exoskeleton, Passive Exoskeleton, Campaign Artillery, Metabolic Costs, Operational Requirements.



## ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO	
CAPÍTULO 1 ENQUADRAMENTO TEÓRICO .....	5
1.1 Operações em Artilharia de Campanha .....	5
1.2 Documentação e Legislação Nacional: o esforço físico no trabalho .....	11
1.3 Os Exosqueletos.....	12
CAPÍTULO 2 METODOLOGIA.....	26
2.1 Fase da Identificação de Requisitos.....	26
2.2 Fase do Trabalho Experimental .....	27
CAPÍTULO 3 MÉTODOS E MATERIAIS DE RECOLHA DE DADOS.....	29
3.1 Fase de Identificação de Requisitos.....	29
3.2 Fase do Trabalho Experimental .....	31
CAPÍTULO 4 RESULTADOS .....	36
4.1 Fase de Identificação de Requisitos.....	36
4.2 Fase do Trabalho Experimental .....	43
CAPÍTULO 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	47
5.1 Fase de Identificação de Requisitos.....	47
5.2 Fase do Trabalho Experimental .....	48
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	
BIBLIOGRAFIA	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Obus M119 105mm LG/30/m98 e Serventes .....	9
Figura 2 - Peso teórico recomendado em função da zona de movimentação.....	12
Figura 3 - Relação entre Ortótese, Exosqueleto e Wearable Robots.....	16
Figura 4 - a: BLEEX, b: HULC, c: HEXAR .....	17
Figura 5 - a: ReWalk, b: Ekso Bionic.....	18
Figura 6 - a: LOPES, b: LOKOMAT .....	18
Figura 7 - Exosqueleto Passivo por Collins <i>et al.</i> , 2015.....	23
Figura 8 - Constituição do Exosqueleto .....	24
Figura 9 - Variação percentual dos custos metabólicos em relação à marcha sem exosqueleto .....	25
Figura 10 - Fita do Tempo da metodologia adotada.....	28
Figura 11 - Características das molas utilizadas nos ensaios .....	34
Figura 12 - Resultados do IAE à pergunta "Durante um exercício no âmbito da Artilharia, sente dores?".....	37
Figura 13 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, indique as regiões musculares, durante o exercício." .....	37
Figura 14 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, indique as regiões musculares, após o exercício." .....	38
Figura 15 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, quantos dias duram essas dores?" .....	38
Figura 16 - Resultados do IAE na tarefa "Caminhar" .....	40
Figura 17 - Resultados do IAE na tarefa "Correr" .....	40
Figura 18 - Resultados do IAE na tarefa "Levantamento de Pesos com Agachamento" ....	41
Figura 19 - Resultados do IAE na tarefa "Levantamento de Pesos sem Agachamento".....	41
Figura 20 - Resultados do IAE na tarefa "Transporte de Material Pesado" .....	41
Figura 21 - Resultados do IAE na tarefa "Subir/Escalar a locais elevados" .....	42
Figura 22 - Variação percentual em MET consoante as molas utilizadas.....	44
Figura 23 - Valores em MET consoante a mola utilizada .....	45
Figura 24 - Perceção de esforço efetuado e de apoio das molas .....	46

Figura 25 - Classificação quanto à mobilidade e conforto da peça.....	46
Figura 26 - IAE: Frequência dos movimentos do Cmdt Sec.....	VII
Figura 27 - IAE: Intensidade dos movimentos do Cmdt Sec .....	VII
Figura 28 - IAE: Frequência dos movimentos do S1 .....	VIII
Figura 29 - IAE: Intensidade dos movimentos do S1.....	VIII
Figura 30 - IAE: Frequência dos movimentos do S2 .....	IX
Figura 31 - IAE: Intensidade dos movimentos do S2.....	IX
Figura 32 - IAE: Frequência dos movimentos do S3 .....	X
Figura 33 - IAE: Intensidade dos movimentos do S3.....	X
Figura 34 - IAE: Frequência dos movimentos do S4 .....	XI
Figura 35 - IAE: Intensidade dos movimentos do S4.....	XI
Figura 36 - IAE: Frequência dos movimentos do S5 .....	XII
Figura 37 - IAE: Intensidade dos movimentos do S5.....	XII
Figura 38 - IAE: Frequência dos movimentos do Condutor .....	XIII
Figura 39 - IAE: Intensidade dos movimentos do Condutor.....	XIII

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Constituição do Destacamento de Reconhecimento e Equipamento a transportar .....	7
Tabela 2 - Perguntas Derivadas .....	28
Tabela 3 - RESPONSABILIDADES DO PESSOAL DO DESTACAMENTO DE RECONHECIMENTO .....	XIV

# LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

## Apêndices

Apêndice A: *Checklist* de Registo de Observação

Apêndice B: Consentimento Informado

Apêndice C: Inquérito de Avaliação de Esforço

Apêndice D: Gráficos de Perceção de Esforço dos Inquéritos por Questionário

## Anexos

Anexo A: Responsabilidades do Pessoal do Destacamento de Reconhecimento

Anexo B: Questionário de Perceção de Funcionamento

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AC – Artilharia de Campanha  
AF – Apoio de Fogos  
AM – Academia Militar  
AOp – Área de Operações  
bf – bocas de fogo  
Btr – Bateria  
CAR – Condutor  
CB – Campo de Batalha  
CFS – Curso de Formação de Sargentos  
Cmdt – Comandante  
Cmdt Sec – Comandante de Secção  
EME – Estado Maior do Exército  
EOD – *Explosive Ordnance Disposal*  
EP – Exército Português  
FA – Forças Armadas  
Fig. – Figura  
IAE – Inquérito de Avaliação de Esforço  
IST – Instituto Superior Técnico  
LBL – Laboratório de Biomecânica de Lisboa  
LG – *Light Gun*  
MT – Missão de Tiro  
NATO – *North Atlantic Treaty Organization*  
NBQ – Nuclear, Biológico e Químico  
PCT – Posto Central de Tiro  
REOP – Reconhecimento, Escolha e Ocupação da Posição  
S1, S2, S3, S4 e S5 – Serventes da Secção LG (1 a 5)  
TIA – Trabalho de Investigação Aplicada  
Tm – Transmissões

Un – Unidade

## INTRODUÇÃO

Este Trabalho de Investigação Aplicada (TIA), faz parte do currículo integrante do último ano do curso de Ciências Militares, na especialidade de Artilharia da Academia Militar e intitula-se de “Análise e desenvolvimento do conceito de Exosqueleto para aplicação em ambiente operacional”. É o culminar de cinco anos de formação militar, pessoal e profissional. Este estudo enquadra-se num projeto de investigação desenvolvido pela Academia Militar em conjunto com o Instituto Superior Técnico (IST), que conta com a participação e trabalhos de professores e alunos civis e militares. O presente trabalho aborda a utilização de exosqueletos na vertente militar, no âmbito da Artilharia. O projeto tem como objetivo final a conceção e desenvolvimento de um exosqueleto para os membros inferiores que reduza os custos metabólicos do seu utilizador, podendo ser de emprego militar e/ou civil. Para isso, esse exosqueleto estaria dividido em três pontos cruciais de funcionamento: articulação do tornozelo, do joelho e da anca. Nesta fase, o foco é no tornozelo, onde os movimentos principais que se pretendem facilitar são os associados à marcha. Este estudo pretende, essencialmente, avaliar os requisitos da atividade operacional em Artilharia e perceber se se adequa a utilização de exosqueletos nesse âmbito.

Hoje em dia, o soldado das Forças Armadas (FA) carrega material com um peso significativo para a massa corporal do indivíduo e para as tarefas que executa. Quer em Artilharia, quer em outra arma ou serviço, verifica-se esta realidade: material individual de combate (espingarda automática G3, colete tático e/ou balístico, capacete tático, ...), mochila individual com o material necessário e outras eventuais cargas associadas ao cumprimento da missão. Partindo deste pressuposto, os exosqueletos surgem como uma possível solução para atenuar os custos metabólicos destas tarefas. Para isso é essencial perceber a utilidade destes modelos, o modo de funcionamento e sua aplicabilidade à orgânica do Exército Português (EP) e perceber se os custos que acarretam se enquadram com as soluções e objetivos do EP, nomeadamente na arma de Artilharia. Além disso, uma estrutura deste género consegue reduzir potenciais riscos de lesão em regiões corporais sujeitas a esforços físicos para além do que é natural ao corpo humano e que usualmente são executados de forma incorreta. Estaremos a falar, por exemplo, da flexão anterior do tronco



para apanhar algo do chão, em vez de ser feita a flexão do joelho e da anca, conjuntamente com uma ligeira flexão do tronco. Ainda, visto que se trata de uma ideia pioneira no EP e que pretende originar mudanças e melhorias no cumprimento da missão da instituição, torna-se por si só motivador e inspirador trabalhar neste projeto. As taxas de lesão em militares são de interesse geral, desde decisores políticos até ao próprio combatente. As lesões no serviço militar são consideradas o topo dos problemas de saúde do EP com uma prevalência de Lesões Músculo-esqueléticas (LME) de 35%, onde 223 indivíduos desenvolveram 263 LME, sendo que em 72,7% dos casos deveu-se a mecanismos de sobrecarga, e realça-se uma média de 19,6 dias de dispensa por militar com lesão (estudo referente à Escola das Armas) (Jeremias & Correia, 2016). Informações referentes à primeira Guerra do Golfo, sugerem que 39% dos hospitalizados foram por LME, em comparação com os 5% dos hospitalizados por causas relacionadas com o combate, sendo que 30 – 50% dos debilitados podem ser devido a lesão com dor lombar e na região dos joelhos (Birrell & Hooper, 2007).

Outra questão importante, é o facto de que o Código do Trabalho impõe limites ao peso a carregar e distância a percorrer, com peso adicional ao corpo humano, no local de trabalho ou no serviço. Existem ainda estudos referentes a estes limites, como o de Inês Monteiro (2014), que mostram informações pertinentes ao presente estudo (DL. n.º 226/1993).

O objetivo geral desta investigação é a análise e desenvolvimento de conceito de um exosqueleto, aplicado ao ambiente operacional, no âmbito da Artilharia. Só após a completa análise da atividade operacional e posterior perceção do esforço e movimentos típicos dos militares de Artilharia, é possível perceber a real utilidade deste conceito em ação.

Subdividindo o acima referido por fases, foram estabelecidos ainda objetivos específicos, por forma a permitir um melhor desenrolar da investigação. São eles:

O1: Caraterizar as posições e movimentos típicos do ambiente operacional;

O2: Perceber qual o equipamento individual de combate específico da arma de Artilharia e o próprio ambiente operacional;

O3: Identificar os requisitos dos exosqueletos mais eficazes e/ou eficientes em ambiente operacional, no âmbito da Artilharia de Campanha.

Daqui, é possível construir a questão que dá origem à investigação apresentada e que serve como base condutora de todo o processo, sendo esta: “Qual é a aplicação e utilidade de um exosqueleto em ambiente operacional no âmbito da Artilharia de Campanha?”

Os contributos mais significativos do trabalho envolvem a consideração da marcha e corrida, bem como a movimentação manual de cargas, como principais atividades a considerar para o desenvolvimento de um exosqueleto para aplicação na Artilharia de Campanha, devendo este proporcionar elevada mobilidade, autonomia e robustez. O trabalho experimental revelou a redução das necessidades metabólicas durante a marcha dos três sujeitos considerados, com valores entre -6,1% e -0,8%, com uma redução média de -4%, registando-se uma elevada fiabilidade do sistema após aplicadas as alterações consideradas neste estudo.

Este TIA está constituído em 5 capítulos principais, cada um tratando uma parte constituinte da dissertação e cada uma destas partes está dividida nas fases do trabalho.

O primeiro capítulo refere-se ao enquadramento teórico, revisão da literatura e dá a conhecer o “estado da arte” do tema. Define os conceitos básicos abordados e caracteriza os conhecimentos, investigações e documentação associados, assim como a formulação da pergunta de partida. Começa por caracterizar as operações de Artilharia de Campanha, de seguida aborda as evidências relativas ao esforço que deve ser executado durante os deslocamentos e o transporte de material. Seguidamente, é apresentada uma identificação dos exosqueletos existentes, a sua forma de funcionamento e estudos existentes sobre estas soluções quer no meio civil, quer no ambiente operacional. Por fim, é abordado o exosqueleto anteriormente desenvolvido pelo grupo de trabalho e utilizado nesta investigação.

O segundo capítulo define a metodologia e a abordagem feita aos dados adquiridos e a forma como os mesmos foram tratados, perguntas derivadas e o modelo de análise adequado ao método de investigação utilizado.

O terceiro capítulo identifica os métodos e materiais, isto é, as técnicas para recolha de dados, explanando como foram definidas as escalas utilizadas nos inquéritos e folhas de registo das observações não-participantes, sendo ainda justificada a utilização deste tipo de método. Seguidamente é descrita a solução de exosqueleto existente e as melhorias que este trabalho acrescentou ao projeto, materializando a evolução do conceito. É ainda relatado o método utilizado para a execução dos ensaios laboratoriais, realizados no Laboratório de Biomecânica de Lisboa (LBL) situado no Instituto Superior Técnico (IST) e o método de tratamento dos dados daí provenientes.

O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos durante o trabalho, sendo estes divididos em duas fases principais: identificação de requisitos para um exosqueleto ao nível

da atividade operacional, no âmbito da Artilharia; Ensaio da solução existente em laboratório. A fase de identificação de requisitos foi materializada em três vetores, sendo estes: consulta da doutrina e conhecimento científico, fundamentando o estudo de campo; observações realizadas durante a participação em dois Exercícios de Campo no âmbito da Artilharia (folhas de registo, vídeos e fotografia); avaliação da percepção de esforço dos militares (realizada através de inquéritos). A segunda fase do trabalho foi dividida em dois vetores, materializando uma análise quantitativa dos ensaios, obtida através da medição do consumo de oxigénio durante a marcha, e uma análise qualitativa, referente à percepção dos utilizadores acerca da utilização do exosqueleto.

O quinto capítulo apresenta a discussão dos resultados de ambas as fases, decorrentes dos três vetores associados à fase de diagnóstico, verificando-se se a doutrina condiz com a informação obtida nos inquéritos e observações, assim como a análise dos resultados dos ensaios realizados no LBL, após serem materializadas as alterações no exosqueleto.

Por fim, são apresentadas as conclusões da investigação, com algumas propostas para desenvolvimentos futuros, seguidas da bibliografia, apêndices e anexos relevantes.

# CAPÍTULO 1

## ENQUADRAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Operações em Artilharia de Campanha

A Artilharia de Campanha (AC) encontra-se na componente dos Fogos, que em conjunto com a componente da Manobra, resulta no Potencial de Combate (PC) de uma força. Estes dois elementos, conjugam-se mutuamente para o sucesso da missão, tornando-se essencial uma coordenação o mais precisa e completa possível (Academia Militar, 2011). “A AC constitui o meio terrestre de apoio de fogos mais poderoso que o Comandante de uma força tem à sua disposição para influenciar o decurso do combate” (Estado Maior do Exército, 2004). Tal permite executar fogos potentes a longas distâncias, facilitando ao Comandante (Cmtd) o acesso a determinados locais no campo de batalha (CB). O escalão mais baixo que a AC do EP trabalha é o escalão Companhia (Bateria, no caso da Artilharia), sendo estas baterias compostas por seis secções cada. O equipamento maioritariamente utilizado na AC é o obus ou boca de fogo (bf), e que no âmbito desta investigação, será focado no obus rebocado M119 105mm LG/30/m98 – *Light Gun*. “Um Obus é uma arma que é usada para disparar projéteis de Artilharia, com uma trajetória controlada e a longas distâncias” (Figueira, 2018, p.1), em que os seus objetivos mais comuns passam por “(...) destruir, suprimir, mascarar ou iluminar um ou mais objetivos (...)” (Figueira, 2018, p.1). Por outro lado, a flexibilidade da AC em poder alterar os seus planos e objetivos, a precisão dos seus fogos e poder de destruição e, a relativa rapidez de resposta a pedidos de tiro permitem a esta arma, auxiliar as forças de manobra no imediato, com o propósito de destruir, neutralizar ou suprimir objetivos e/ou obstáculos pertinentes (Estado Maior do Exército, 2004).

Neste sentido, é importante fazer uma caracterização geral das operações de AC, os movimentos típicos, frequência desses movimentos e esforços feitos em cada tarefa, de modo a conseguirmos estudar e analisar soluções que possam minimizar os custos metabólicos derivados, assim como enquadrar e justificar capítulos seguintes do trabalho. De forma a facilitar a organização do estudo e compreensão de todos os participantes do

projeto em questão – militares de diversas armas e serviços, assim como civis pertencentes ao IST – foi decidido dividir e limitar alguns procedimentos da AC nas seguintes fases:

- Deslocamento e reconhecimento da posição a ocupar;
- Entrada e ocupação da posição;
- Execução do Tiro;
- Saída da posição.

### **1.1.1 Deslocamento e reconhecimento da posição a ocupar**

Nesta fase a finalidade é deslocar uma unidade (Un) de AC do local onde esta esteja e escolher uma nova posição, de onde possa executar os seus fogos. Decidiu-se não chamar a esta fase pelo seu nome original e doutrinário – Reconhecimento, Escolha e Ocupação da Posição (REOP) – pois este inclui a entrada dos obuses nas suas posições e prontos a executar uma Missão de Tiro (MT), e como acima referido, por motivos de facilitar a investigação, denominou-se como explanado em 1.1.1. Pretende-se obter informações relativas ao terreno da Área de Operações (AOp), a fim de seleccionar vários requisitos, pontos de coordenação, itinerários, localizações de subunidades, assim como outras questões relevantes (Estado Maior do Exército, 1988).

Existem então, várias formas de fazer este reconhecimento: Carta Topográfica, Fotografia Aérea, Aéreo e Terrestre. No entanto, o mais usado é o Reconhecimento Terrestre devido ao facto de ser o método mais fiável e seguro, pois fornece maior pormenor e contacto com o terreno a ocupar. É utilizado sempre que possível e considerado imprescindível aos baixos escalões. A sua contrapartida é que é o que consome mais tempo (Estado Maior do Exército, 1988).

A equipa de homens que executa este reconhecimento está definida em doutrina e chama-se Destacamento de Reconhecimento. Esta equipa é constituída de acordo com a informação exposta na figura 1 (Estado Maior do Exército, 2004):

**Tabela 1 - Constituição do Destacamento de Reconhecimento e Equipamento a transportar**

<b>Pessoal</b>	<b>Equipamento</b>
Cmdt Btr e Condutor	Viatura Cmdt Btr com rádio; carta; bússola; binóculos; detetor de minas; equipamento de deteção/monitorização NBQ.
Adjunto do Comando	Viatura do COB; carta; esquadro de coordenadas; transferidor; quadrícula; papel transparente.
Representante do PCT	Equipamento de PCT do COB; antena RC-292.
Sargento de Tiro	Goniómetro-bússola declinado com tripé e dispositivo de iluminação noturna; telefone; DR-8.
Representante das transmissões	Régua de terminais; telefone; DR-8; comutador telefónico.
Guias	Tabuletas de sinalização; balizas de pontaria; estacas baixas de sinalização.

**Fonte: MC 20-15, 3-6**

As funções destes homens ao longo desta fase podem variar consoante a Un ou a força em que estão inseridos, mas em doutrina as suas responsabilidades passam resumidamente por – mais detalhado no anexo A (Estado Maior do Exército, 1988):

- Cmdt Bateria (Btr) – supervisionar todo o processo e a segurança do grupo, reconhecer pela carta e terreno, escolher as posições das subunidades;
- Adjunto do Cmdt Btr – reunir o Destacamento, auxiliar o Cmdt, participar na segurança, organizar uma batida à zona, responsável pelo posicionamento das viaturas;
- Condutor do Cmdt Btr – acompanhar o Cmdt, verificação NBQ, cooperar na segurança, participar na batida, montagem da antena de Transmissões (Tm), operar equipamento NBQ;

- Representante do Posto Central de Tiro (PCT) – cooperar na segurança, participar na batida, instalar a antena de Transmissões, reconhecer o itinerário a ele associado, verificar se existe comunicações com as bf;
- Sargento de Tiro – cooperar na segurança, participar na batida;
- Representante das Transmissões – cooperar na segurança, participar na batida, assegurar ligações telefónicas dentro da Btr;
- Guias das bocas de fogo – cooperar na segurança, participar na batida, reconhecer o itinerário desde o ponto de reunião até à posição da bf (distância pode, geralmente, variar entre os 100 – 500m), preparar a posição, estabelecer as ligações telefónicas da secção.

Como explanado acima, nota-se que no decorrer desta fase os militares solicitam mais significativamente a marcha e, adicionalmente, o transporte de material que acarreta peso extra ao indivíduo, que por si só já carrega o seu equipamento individual (Ex. capacete tático de combate, arma individual e colete tático).

### **1.1.2 Entrada e Ocupação da Posição**

Esta fase começa com o encontro dos guias de cada viatura com a respetiva e o encaminhamento, a andar ou correr (mais usual), de cada uma ao respetivo local, já definido pelo Cmdt Btr. Depois inicia-se o processo de colocar o obus LG pronto a fazer tiro, ou seja, desatrelar o obus da viatura, colocá-lo na sua posição, conteirar o obus se necessário, retirar todo o material da viatura e instalar e preparar a posição. Todas estas tarefas devem ser executadas o mais rápido possível e cada homem deve saber aquilo que vai fazer. Aqui o objetivo é a secção estar pronta a receber elementos de tiro para fazer fogo de forma exata e precisa, isto é, com o menor dos erros em relação às pontarias do obus e no menor tempo possível, pois uma demora excessiva nestes procedimentos poderá trazer consequências prejudiciais às forças a serem apoiadas (Estado Maior do Exército, 1988).

Os homens que executam estas tarefas são os homens de uma secção de uma Btr de Artilharia, sendo eles: Cmdt Sec, 5 praças (S1, S2, S3, S4, S5) e Condutor (Estado Maior do Exército, 2003).

As suas funções passam por:

- Cmdt Sec – supervisionar o desempenho da secção e garantir o cumprimento dos procedimentos corretos, auxiliar sempre que achar necessário;

- S1 – transporte da luneta de pontarias do obus, montagem e movimentação da luneta;
- S2 – participar no transporte de todo o material da viatura para a posição, na montagem do obus e preparação da entrada em posição;
- S3 – participar no transporte de todo o material da viatura para a posição, na montagem do obus e preparação da entrada em posição, conteirar o obus;
- S4 – participar no transporte de todo o material da viatura para a posição, na montagem do obus (Ex: carregamento da plataforma de tiro do obus – 95kg) e preparação da entrada em posição, conteirar o obus;
- S5 – normalmente é o guia da secção, guia a viatura ao local devido, garante comunicações telefónicas, auxilia toda a secção, participa no transporte de todo o material da viatura para a posição, na montagem do obus e preparação da entrada em posição, conteira o obus.

Temos de ter em conta que ao acima descrito é adicionado o peso corrente do material individual do combatente e que estas funções são doutrinárias, podendo variar consoante a Un ou força em que estão inseridos. Assim, nota-se a solicitação de esforço ao nível da movimentação manual de cargas, quer no solo (Ex. suspender e manobrar o obus), quer de superfícies altas, como no caso da caixa de carga da viatura de reboque do obus, ou mesmo do seu taipal. A Fig. 1 ilustra uma secção LG a desatrelar o obus da sua viatura.



**Figura 1 - Obus M119 105mm LG/30/m98 e Serventes**

**Fonte: exercito.pt**



### **1.1.3 Execução do Tiro**

Aqui situamo-nos na fase onde o obus já se encontra pronto a receber uma MT. Esta fase é, a que requer menor esforço físico, visto que os homens estarão de pé posicionados cada um nas suas posições, prontos a executar as suas funções. Estas últimas passam por (Estado Maior do Exército, 2003):

- Cmdt Sec – responsável pelo desempenho da arma durante o tiro, verifica o desempenho dos serventes, dá ordem de fogo e faz comunicações com o PCT;
- S1 – movimentação dos aparelhos de pontaria do obus;
- S2 – movimentação da culatra do obus e do mecanismo de disparar;
- S3 – receber as munições das mãos do S4, carregar o obus e soquetar a munição;
- S4 – entregar as munições preparadas ao S3, em cadências de tiro rápidas preocupando-se em ter sempre uma munição pronta nas mãos, auxiliar o S5 na preparação das munições, podendo ajudar a conteirar o obus;
- S5 – auxiliar o Cmdt Sec em todas as situações, conferir o tipo, peso e lote das cargas e granadas, conteirar o obus sempre que necessário.

Nesta situação é de notar a sobrecarga física na região lombar dos indivíduos que conteiram o obus, visto que este movimento é executado segundo uma flexão anterior do tronco com levantamento e transporte de pesos elevados (apesar de, em formação ser indicado para o movimento ser realizado através de um agachamento).

Neste trabalho não foi considerado o transporte de munições com a relevância que deveria ter, pois na participação dos exercícios técnicos esta tarefa foi reduzida a esforços não significativos (a viatura das munições fez o transporte das mesmas até ao local do obus).

### **1.1.4 Saída de Posição**

Esta é a fase final. Após os objetivos serem batidos e a MT cumprida, e consoante coordenação com o escalão superior na medida da passagem para uma nova posição, a Btr começa a desmontar todo o seu dispositivo e arrumar o material. As secções transportam o material de novo para dentro das viaturas de reboque e atrelam o obus. De seguida, o guia da secção direciona a viatura novamente para a coluna de marcha (Estado Maior do Exército, 2003).

Basicamente, esta fase é idêntica à Entrada em Posição, apenas no sentido inverso, logo, os níveis e tipos de esforço vão ser semelhantes.

A partir deste ponto, todos estes procedimentos podem ser repetidos as vezes que forem necessárias ao longo de um dia (24h), sempre dependendo do decorrer da missão e das informações provenientes do escalão superior. Para além disso, outro fator que implica a mudança contínua de posição de uma Btr de AC é o facto do inimigo poder detetar a localização original do local de onde partiu o projétil, através de radares de deteção de trajetórias balísticas. Assim, torna-se imperativo que uma Btr tenha a capacidade de executar fogos e mover-se em curtos espaços de tempo, ao mesmo tempo que mantém a sua eficiência (Estado Maior do Exército, 2007).

Retira-se assim, sumariamente, que o Cmdt Sec é o homem que supervisiona todo o funcionamento da secção e efetua os seus deslocamentos consoante a missão o exigir. O S1 e S2, essencialmente, manejam os materiais a estes atribuídos. O S3 e S4 têm o seu foco na preparação do obus para tiro (montagem dos cabos, colocação do obus na posição, movimentação do material da secção, preparação e transporte de munições). O S5 participa nas atividades pertencentes ao S3 e S4 e, ainda, auxilia toda a secção nas suas tarefas.

Ao nível do esforço físico de cada elemento da secção, elementos como S3, S4 e S5 aparentam ter maiores solicitações ao nível da movimentação de cargas. Ao nível da marcha e corrida, o enfoque é dirigido ao S5. Dá-se uma especial atenção à possibilidade do Cmdt Sec poder apresentar elevados níveis de esforço na marcha, devido à relativa liberdade associada à sua função. Podemos assim, deduzir que existe uma quantidade significativa de esforço físico acumulado dos militares ao longo de um certo período em combate, que pode originar excesso de fadiga e aumentar potencialmente o risco de lesões.

## **1.2 Documentação e Legislação Nacional: o esforço físico no trabalho**

Na ótica legal, existem determinadas normas a cumprir no que diz respeito aos pesos que um trabalhador deve carregar por um determinado tempo e por uma determinada distância.

A movimentação manual de cargas é uma tarefa que expõe o trabalhador a uma diversidade de riscos adjacentes ao esforço físico, onde os principais fatores de risco a considerar são: características da carga, características da tarefa, práticas de trabalho, características individuais e do ambiente de trabalho (Monteiro, 2014). Segundo a legislação

nacional, uma carga é considerada demasiado pesada quando pesa mais de 30kg, em situações ocasionais, e mais de 20kg para situações frequentes (DL. nº 226/1993). Para Monteiro (2014), uma carga só é considerada como tal, a partir dos 3kg. Refere ainda que, em condições ideais, não devem ser carregados pesos acima dos 25kg e no caso de populações específicas, como mulheres, idosos ou crianças, não superiores a 15kg. Em casos especiais, quando o trabalhador é treinado para tal, o limite de peso a transportar pode ir até aos 40kg. O limite de peso a transportar deve ainda respeitar o esquema ilustrado na figura 3, relacionando o peso manuseado com a distância ao tronco do indivíduo.

De acordo com o artigo 8º do Decreto-Lei nº 330/93, de 25 de setembro, o empregador deve informar os trabalhadores das características das cargas, incluindo centro de gravidade e formas de transporte (DL. nº 226/1993).

Quanto às distâncias de transporte de cargas, em 8 horas de trabalho, se a distância a percorrer com a carga for até os 10m, não devem ser carregados mais que 10 000kg (carga acumulada). Caso a distância ultrapasse os 10m, o limite passa a 6 000kg (Monteiro, 2014).

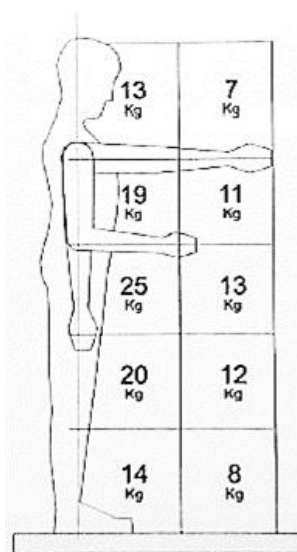


Figura 2 - Peso teórico recomendado em função da zona de movimentação

Fonte: Retirado de Monteiro (2014).

### 1.3 Os Exosqueletos

Na perspectiva de conectar as operações de Artilharia e os seus custos físicos com a solução que é trabalhada neste projeto, neste segmento será ilustrado o “estado da arte” dos

exosqueletos, como funcionam, os diversos tipos e formas de atuação e estudos e/ou projetos existentes neste âmbito.

### 1.3.1 Estado da Arte

Esta dissertação foca-se, apenas, em exosqueletos que estão fixos ao indivíduo e atuam de acordo com o seu movimento, ou seja, estruturas que podem ser classificadas como antropomórficas (Knapik, 2000), mais propriamente, em exosqueletos para os membros inferiores. Para muitos autores, nomeadamente no aspeto biológico, um exosqueleto pode ser definido como a estrutura esquelética fora do corpo do ser vivo. Esta definição torna-se vaga e vulgar quando se pretende tratar o conceito num sentido mais estreito. Num campo mais orientado para o desenvolvimento artificial de aparelhos que auxiliem o ser humano, um exosqueleto pode ser descrito como uma estrutura que aumenta as capacidades físicas de quem a utiliza (Herr, 2009). Já de acordo com Yang *et al.* (2017), um exosqueleto é uma estrutura auxiliar que tem a mesma função do esqueleto e dos músculos do corpo humano, mas que pretende replicar o movimento humano, auxiliando no transporte de cargas, redução da fadiga, entre outros. Esta aceção pode muitas vezes ser confundida com a de “ortótese”, que por sua vez, descreve uma estrutura que auxilia o movimento de uma pessoa com uma patologia num dos seus membros (Herr, 2009).

O deslocamento é essencial à vida humana. A deterioração da capacidade de uma pessoa se locomover impede a mesma de realizar tarefas indispensáveis do quotidiano. Dentro de diversos e variados fatores, encontram-se o envelhecimento da população, como potenciador de perda de mobilidade; ocorrência de traumas físicos causados por acidentes laborais ou de viação; o aparecimento de certas patologias que afetam a aptidão para andar. Fatores estes que danificam gravemente os sistemas nervoso, muscular e esquelético e que limitam e reduzem drasticamente a qualidade de vida destas pessoas (Quinto, Gonçalves, & Silva, 2017).

Na tentativa de atender a necessidades como estas da população, a partir do séc. XIX, verificou-se um crescimento na pesquisa e desenvolvimento de sistemas mecânicos complexos que ampliassem e melhorassem a biomecânica do corpo humano (Pinheiro, 2018). Muitos são, meramente, ideias ou protótipos que são desconhecidos ou até nem são reconhecidos cientificamente.

O seu começo oficial partiu em 1956 com Lent a apresentar o primeiro protótipo técnico de um fato espacial insuflável com articulações assistidas. Depois veio Mizen, em 1966, a propor o primeiro amplificador humano para fins militares e civis. Mas a primeira investigação experimental, em que se desenvolveu o *Hardiman*, foi testada pela *General Electric* entre 1965 e 1971 e trouxe este aparelho como um exosqueleto de corpo inteiro hidráulico, apresentando articulações assistidas a energia elétrica, capacidade de carregamento de cargas até 340kg e sistema inteligente que se adapta aos movimentos naturais do utente (Fontana *et al.*, 2014).

Com o decorrer da história, o aprofundamento destes tópicos levou a que se espalhasse noutros ramos da sociedade, nomeadamente, para usos militares. Atualmente, podemos dizer que existem duas grandes vertentes onde a aplicação e desenvolvimento destes aparelhos está a ser realizada: aumento de capacidades em indivíduos sem limitações locomotoras com o objetivo de ampliar o desempenho e competências, enquadrando-se nos exosqueletos geralmente empregues na indústria, defesa e segurança civil; e apoio ou correção de doenças relativas ao movimento, onde se destacam as estruturas empregues na medicina e em todos os campos associados à reabilitação e assistência médica a debilitados (Pinheiro, 2018).

Os exosqueletos utilizados numa e noutra vertente, diferem quanto à sua constituição e método de atuação. No seu uso amplificador, isto é, sem fins medicinais, os exosqueletos têm de estar sensibilizados a responder à movimentação natural do corpo e operar segundo a intenção do utente, portanto os sistemas de controlo e atuação têm de ser capazes de agir como um segundo esqueleto. Para além disso, em respeito ao corpo do utente, o exosqueleto deve conseguir adaptar-se à amplitude dos movimentos dos seus membros. No seu uso reabilitador, isto é, com propósitos medicinais, estes exosqueletos não podem ter a trajetória dos movimentos das articulações de uma pessoa saudável, visto que estes utentes não conseguem executar. Portanto, necessitam de interfaces e sistemas especificamente dedicados ao preenchimento destas lacunas (Rupal *et al.*, 2017).

Com a evolução tecnológica e progresso das sociedades, os estudos e projetos nestas áreas de investigação têm sido mais orientadas para os exosqueletos ativos (requerem energia externa), e que por outro lado fornecem maiores benefícios. No entanto, diversas equipas de investigação têm apostado no aproveitamento de energia despendida naturalmente pelo movimento do corpo humano para poder retorná-la ao utente. Estas soluções, denominadas passivas (não requerem energia externa), podem aumentar as

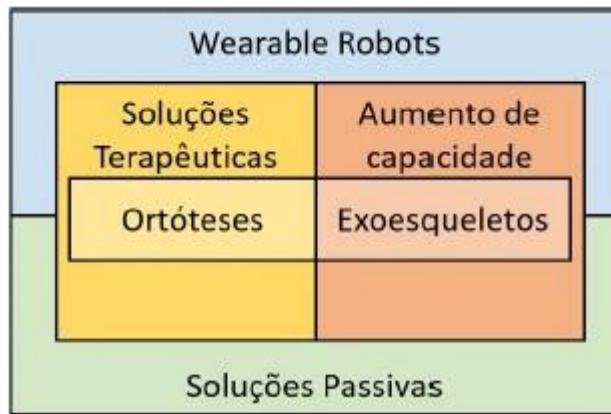
capacidades físicas do seu utilizador, como por exemplo a sua resistência à fadiga, através de soluções fiáveis, leves e pouco dispendiosas (Pinheiro, 2018).

### 1.3.2 Classificação de Exosqueletos

“No âmbito tecnológico, *wearable robots* caracterizam-se como equipamentos robotizados direcionados para a utilização humana, com vista a substituir, complementar ou aumentar as capacidades do seu utilizador. Os exosqueletos robotizados destacam-se dentro dos *wearable robots* por exibirem uma cadeia cinemática que replica o movimento humano (Quinto *et al.*, 2017)”.

Conceptualmente, os exosqueletos podem ser classificados em três categorias distintas: ativos, passivos e quase passivos. Os exosqueletos passivos funcionam através de mecanismos a equipamentos que não requerem de uma fonte de energia externa para que sirvam a sua função – molas e amortecedores – e cumprem o mesmo objetivo. Os exosqueletos quase passivos não deixam de atuar de forma autossuficiente, mas incluem sistemas sensoriais e eletrónicos para melhorar o seu funcionamento. Os exosqueletos ativos gozam de sistemas alimentados externamente (Ex. elétricos, hidráulicos ou pneumáticos), podendo estes variar consoante o material que é utilizado ou o propósito com que é construído, e têm a vantagem de produzir efeitos significativamente superiores, embora com a desvantagem de serem dependentes de energia (Quinto *et al.*, 2017).

Pode-se ainda falar no termo exofato (ou *exoskeleton suit* ou *exosuit*) que representa uma versão de exosqueleto com a particularidade de poder ser vestido como se de roupa se tratasse, que devido às suas características não é vertebrado. As qualidades mais notáveis dos exofatos são a sua não rigidez, complacência, adaptabilidade, operabilidade e intelectualização, podendo atuar passiva ou ativamente. A ideia de um exofato é a de apoiar o movimento humano através de elementos de força e de controlo, não dispondo, no entanto, de elementos estruturais, recorrendo assim à estrutura musculoesquelética do seu utilizador (Yang *et al.*, 2017). A Fig. 3 ilustra a relação entre os conceitos explicados.



**Figura 3 - Relação entre Ortótese, Exoesqueleto e Wearable Robots**

Fonte: “Revisão sistemática de exoesqueletos para membros inferiores” artigo de Quinto, Gonçalves e Silva (2017)

No que diz respeito ao propósito do aparelho e mecanismos de atuação, podemos dividir os exoesqueletos em 3 grupos (Young & Ferris, 2017):

- Aumento do desempenho humano
- Restauo da marcha
- Reabilitação

Ainda, de acordo com Aliman *et al* (2016), os exoesqueletos para membros inferiores podem ser classificados pelos seus atuadores, podendo ser elétricos, pneumáticos, hidráulicos e híbridos e usar-se-á esta divisão ao longo da dissertação.

### **Aumento do desempenho humano**

Este tipo de exoesqueletos é fabricado com o intuito de aumentar a força, resistência, equilíbrio do utente em qualquer atividade que ele execute ou com o objetivo de executar um movimento específico. Neste sentido, foram e são vários os projetos que chegaram a ser comercializados ou outros que ainda estão em desenvolvimento.

O *BLEEX* (Fig. 4.a), permite andar a velocidades de 1,3 m/s com cargas até 34kg e é sensível as forças produzidas sem requerer sinais do utente. O *HULC* (Fig. 4.b) foi contruído para reduzir a componente vertical do peso carregado pelo utente, embora não apoie o levantamento de pesos. Estes dois aparelhos são hidráulicos (Kazerooni, 2006).

O *HEXAR* (Fig. 4.c), de funcionamento elétrico, construído para fins industriais, utiliza dois motores elétricos e sensores de força, que são acoplados ao utente (Kim *et al.*, 2014).



4.a



4.b



4.c

**Figura 4 - a: BLEEX, b: HULC, c: HEXAR**

Fonte: artigos de H. Kazerooni, 2006 e Kim *et al.*, 2014

## **Restauração da Marcha**

Exoesqueletos para restauração de marcha são fabricados para indivíduos com perda total ou parcial da capacidade dos membros inferiores. Ajuda estas pessoas a conseguirem voltar a fazer movimentos do quotidiano, como sentar, levantar e andar (B. Chen *et al.*, 2016).

Neste aspeto, temos exemplos de estruturas como o *ReWalk* (Fig. 5.a) e o *Ekso Bionic* (Fig. 5.b), que são ambos de funcionamento elétrico. O utente tem, no entanto, que ter alguma funcionalidade da parte superior do corpo para utilizar estes exoesqueletos, uma vez que o mecanismo de atuação foi construído para tal, não dispondo de nenhum sistema de equilíbrio. Neste caso, o equilíbrio é garantido através da utilização sistemas de apoio como muletas (Zeilig *et al.*, 2012; Kolakowsky-Hayner, 2013).





5.a



5.b

Figura 5 - a: ReWalk, b: Ekso Bionic

Fonte: artigos de Zeilig *et al.*, 2012 e de S. A. Hayner, 2013

## Reabilitação

Estes exosqueletos podem ajudar, perturbar ou restringir os movimentos do utente com o intuito de atingir exercícios (resultados) terapêuticos. Indivíduos debilitados em certo tipo de movimentos que com o exosqueleto, será possível treinar o seu sistema nervoso e muscular de forma a apoiar o desenvolvimento do utente (Young & Ferris, 2017).

O *LOPES* (Fig. 6.a), *Lower Extrimity Powered Exoskeleton*, apresenta funcionamento híbrido, através de elásticos e molas que transmitem movimento à estrutura. O *LOKOMAT* (Fig. 6.b), de funcionamento elétrico, é um aparelho constituído por uma passadeira elétrica, um exosqueleto específico e um sistema de realidade virtual que envia feedback aos seus utilizadores e terapeutas/investigadores (G. Chen *et al.*, 2013).



6.a



6.b

Figura 6 - a: LOPES, b: LOKOMAT

Fonte: artigos de H. Kawamoto, 2003 e G. Chen *et al*, 2013

### **1.3.3 Estudos existentes de Exosqueletos de aplicação militar**

Este segmento é uma ponte importante da temática geral dos exosqueletos para uma mais específica que é a aplicação destes conceitos em ambiente militar, ou seja, adaptar estas estruturas a movimentos e terrenos irregulares. Esta é uma tarefa desafiante no sentido que se torna necessário adequar o estudo à vertente militar, alterando variáveis e requisitos fundamentais. As atividades militares envolvem dinâmicas e esforços diferentes da vida usual civil e, por outro lado, as FA de cada nação possuem recursos e características distintas que afetam a utilização de certos produtos e armamento. Tais exosqueletos devem-se adaptar a essas condições.

Hoje em dia, independentemente da forma de deslocamento até ao local do assalto em operações militares, os militares transportam material individual de combate como armamento, munições, fardamento e equipamento e mochila, que podem ir até aos 40kg. Mesmo aqueles que se encontram na melhor forma física, ressentem-se quando percorrem longas distâncias a pé. O porta-voz do DST Group (*Defence Science and Technology Group*) australiano, após uma sucessão de investigações orientadas nesta área, veio a público afirmar que “*os exosqueletos surgem como uma opção promissora para expandir a performance e reduzir riscos do pessoal da Defesa na conduta do seu papel operacional*”. Já a *United States Defence Advanced Research Project Agency* (DARPA), declara que o seu foco é explorar o aumento do trabalho muscular e aumentar as competências militares, pois uma grande porção dos militares que desistem do Exército dos EUA está associada a lesões músculo-esqueléticas, nomeadamente, tornozelo, joelhos, ancas, lombar e ombros (Slocombe, 2015).

#### **Projetos concretos em fase de desenvolvimento e avaliação**

O DST Group avança que os seus esforços na vertente dos exosqueletos são orientados para o aumento de capacidades e prevenção de lesões devido ao excesso de cargas. Contudo, relevam que estudos anteriores mostram que exosqueletos ativos, de facto acrescentam custos metabólicos ao utente e entram em conflito com a natureza do corpo humano. Estão, portanto, a focar-se na pesquisa de soluções passivas que suportam parte da carga transportada, tendo patenteado um novo exosqueleto passivo que funciona por cabos

de compressão. Estes aumentam a robustez do sistema esquelético e reduzem a percentagem do peso carregado, transmitindo-o para o solo (Slocombe, 2015).

A empresa Lockheed Martin, cofundadora do antigo HULC, desenvolveu uma nova versão do mesmo fato, construído para uso militar em terreno irregular, escalada e transporte de carga. Este exosqueleto, que é conectado ao corpo do combatente e atua de acordo com os seus movimentos, tem uma autonomia de até 72 horas (com baterias extra carregadas pelo próprio), permite transporte de cargas até 90kg e correr a uma velocidade de 11km/h por longos períodos de tempo ou 16km/h em pouco tempo (Slocombe, 2015).

O *US Special Command* está a desenvolver estudos em cooperação com diversas empresas, agências e universidades no sentido de explorar a amplificação das capacidades do combatente. O seu esforço no desenvolvimento do TALOS (*Tactical Assault Light Operator Suit*) inclui o aprimoramento de capacidades e redução da probabilidade de ocorrência de lesões, mas principalmente o aumento das funcionalidades naturais do ser humano, para dar claras vantagens no CB. Este fato vai apresentar regulação da temperatura corporal, temperatura da pele e tronco, estabilização do batimento cardíaco e níveis de hidratação e postura corporal. O objetivo é ter o primeiro protótipo pronto para testes de campo em 2020 (Slocombe, 2015).

Por fim, a DARPA tem um projeto *Warrior Web* planeado para manter a velocidade de marcha e aumentar a energia de transporte de carga, através de um exosqueleto. Uma ideia que pretende reduzir em metade a sensação de peso sentida pelos militares e que vai ajudar na prevenção de lesões, protegendo as regiões do corpo com maior *stress* físico. O conceito envolve um fato leve aderente à roupa do utente, que deteta e adiciona energia à força exercida pelo utilizador (Slocombe, 2015).

### **Estudos recentes que contribuíram para a evolução do conceito**

Uma quantidade significativa de estudos e pesquisas realizadas por toda a parte do mundo, tiveram o seu contributo no sentido de ajudar a identificar os problemas a resolver, as variáveis de investigação e abordagens diferentes ao tema. Neste segmento estão referidos quatro exemplos de como esse estudo pode ser realizado, de modo a enquadrar o leitor naquilo que é a evolução e desenvolvimento dos exosqueletos nos tempos modernos.

No estudo de Ricciardi, Deuster e Talbot (2008), o objetivo era examinar o trabalho físico, dispêndios de energia e fadiga em militares durante condições operacionais. O teste

consistiu em 34 militares voluntários andarem numa passadeira durante 30 minutos e completarem uma bateria de exercícios. Estes ensaios foram executados duas vezes, uma com equipamento de proteção balística e outra sem este, com um intervalo de 5 dias entre ensaios. Os resultados foram: com proteção vestida o consumo de oxigénio subiu significativamente (+15%), níveis de ácido láctico no sangue com um aumento de 40%, batimento cardíaco +9%, tendo as classificações de esforço físico aumentado 20%. Quanto aos exercícios físicos das baterias, nas elevações, nos homens houve uma redução de 61% e 63% nas mulheres, enquanto que na subida de escadas, houve uma redução de 16% para ambos os géneros.

Na investigação de Majumbar, Pal e Majumdar (2010), que estudou e avaliou as alterações espaciais, temporais e angulares do tronco e membros de militares carregados, com o objetivo de ajudar a desenhar mochilas táticas inovadoras. Consistiu em avaliar militares com e sem mochila, sendo que a diferença nos pesos estaria entre 4,2 a 17,5kg (valor que equivale a 6,5 a 27,2% do peso humano). Nos indivíduos carregados, verificou-se aumento na amplitude da passada, na subida de degraus e cadência dos movimentos. Estas mudanças resultam da adaptação do corpo à alteração dos pesos para balancear esse efeito, em conjunto com mudanças na velocidade. As amplitudes de movimento da anca, joelhos e tornozelo foram significativamente aumentadas na tentativa de absorver os efeitos do peso e do tronco ter tendência a inclinar no sentido posterior. Estas observações ajudam a concluir que existe elevado risco de lesão e uma necessidade de reconstruir mochilas táticas.

De acordo com o estudo de Orr, Coyle, Johnston e Pope (2015), que o objetivo principal foi de apurar se o transporte de cargas por parte dos militares constitui graves fontes de risco de lesão. Dos 338 participantes, 34% mantinham pelo menos uma lesão devida de excesso de carga, 52% dos quais durante o treino inicial de formação militar. Mas a maioria dos casos (61%) são nos membros inferiores em ossos e articulações, derivadas de marchas (esforço contínuo) representando 38% das lesões.

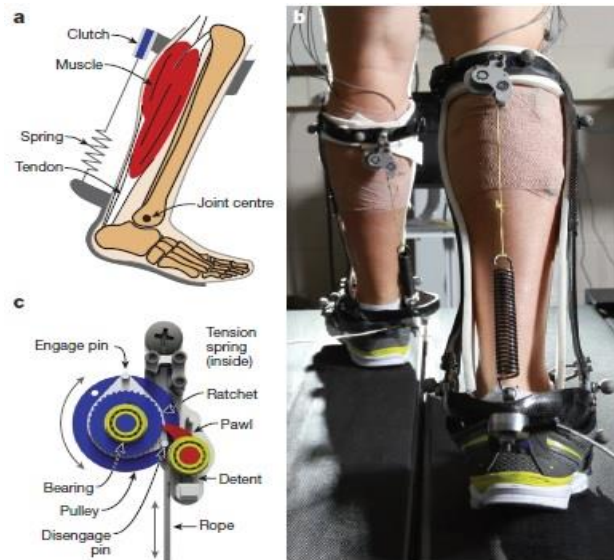
Por último, torna-se relevante referir os resultados do relatório do 2º Workshop de Exosqueletos orientados para operações de EOD (*Explosive Ordnance Disposal*), uma iniciativa desenvolvida ao nível da NATO, realizada em março de 2018, na Eslováquia. O objetivo geral foi verificar se os exosqueletos existentes reúnem os requisitos necessários para o apoio às operações EOD. Objetivos específicos passaram por: identificar limitações humanas em operações EOD; verificar o quanto é que os exosqueletos conseguem mitigar estas limitações; identificar limitações nas capacidades do militar com fato EOD vestido; e

como é que os exosqueletos podem mitigar as limitações identificadas. Executaram-se diversos testes e cenários, com e sem exosqueletos, em diferentes condições de combate. As características dos exosqueletos verificados mais significativas foram as seguintes (NATO EOD Centre of Excellence, 2018):

- Redução da sensação de peso do fato EOD
- Diminuição de algum esforço feito pelo operador EOD
- Fornecem estabilidade e melhor controlo de movimento
- Não são ajustáveis
- Relativamente fáceis de vestir, sem necessidade de ajuda de companheiro
- Fáceis de operar e intuitivos ao toque
- Constituídos apenas por uma peça, não sendo separados
- De fácil transporte

#### **1.3.4 A Solução Abordada**

O exosqueleto em estudo por parte desta investigação foi desenvolvido no âmbito do trabalho anterior e adjacente a este, realizado pelo Alferes de Material Pedro Pinheiro, e que constitui a base experimental do projeto atual (Pinheiro, 2018). Este projeto foi idealizado e baseado no projeto apresentado por Collins, Wiggin e Sawicki (2015). Neste estudo, é mostrada uma estrutura de fabrico próprio, constituída essencialmente por um sistema de embraiagem e mola, associado a um suporte de fibra de carbono que se monta na perna do utente. O objetivo é aproveitar a energia que naturalmente é perdida numa determinada fase do movimento da passada e restaurá-la através da mola, numa fase posterior da marcha, reduzindo as necessidades metabólicas durante este movimento. Este processo é garantido com recurso a uma embraiagem mecânica que bloqueia uma mola, para que esta armazene a energia a devolver ao utilizador. Durante a fase de balanço, a embraiagem liberta a mola, permitindo a livre movimentação do pé. Este sistema completo atua em série com o complexo muscular do *triceps surae* (inclui as duas cabeças do gémio e o solear), tracionando o cabo à medida que o tornozelo efetua os seus movimentos na passada, apoiando o desempenho do gastrocnémio e reforço do tendão de Aquiles. É um aparelho passivo, sem recurso a dispositivos químicos ou elétricos, e chega a reduzir cerca de 7% dos custos metabólicos da marcha do utente (Collins *et al.*, 2015).



**Figura 7 - Exosqueleto Passivo por Collins *et al.*, 2015**

**Fonte: artigo de Collins *et al.*, 2015**

O exosqueleto utilizado nesta investigação segue os mesmos princípios do acima referenciado, com alterações adequadas aos recursos e meios disponíveis, querendo sempre adaptar e criar uma solução que encaixe com os padrões e recursos que o EP possui.

A fabricação de todo o sistema foi realizada pelo grupo de trabalho, com base no projeto de Collins *et al* (2015). Na sua maioria, os componentes foram desenhados em computador e construídos em impressoras 3D próprias para o material em questão, como o suporte de ligação à perna (PLA – *Polylactic acid*). A embraiagem foi maquinada através de tornos e fresadoras controladas por computador (CNC – *Computer Numeric Control*) e outras peças essenciais para o funcionamento do exosqueleto (parafusos, porcas, varão roscado) foram adquiridas no mercado local. A estrutura é associada a uma sapatilha de corrida através de furos feitos na sola do calçado e a embraiagem é aparafusada na parte superior do suporte. Por fim, basta unir o cabo e a mola que estão acoplados à embraiagem, ao suporte de plástico através de uma manilha. A figura 8 ilustra as partes e o sistema completo em utilização (Pinheiro, 2018).



**Suporte montado no calçado**



**Calçado furado**



**Embraiagem completamente montada**



**Exosqueleto montado e incorporado no utente**

**Figura 8 - Constituição do Exosqueleto**

Fonte: Pinheiro, 2018

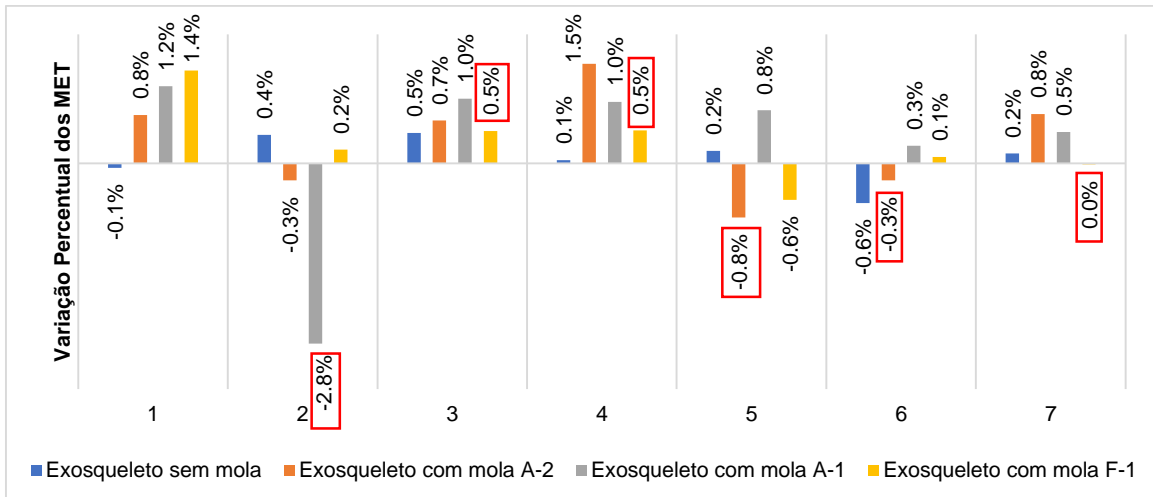
Dos ensaios experimentais efetuados obteve-se uma redução dos custos metabólicos em 4 indivíduos dos 7 que participaram, com variações entre os -27,9% e os -0,1%. Os resultados médios mostram uma redução geral do consumo de oxigénio de -3,1%, com valores a variar entre -27,9% e 15,5%.

Houve redução do custo metabólico dos ensaios com exosqueleto com molas para os ensaios com exosqueleto sem molas, variando entre -31,0% e -1,7%.

Verificaram-se reduções máximas dos custos metabólicos com determinadas molas em certos voluntários, mas estas molas foram diferentes de voluntário para voluntário. O que sugere que deve ser feita a adaptação da rigidez da mola ao utilizador.

Esta estrutura apresenta características que a de Collins *et al.* (2015) não apresenta, relacionadas com o conforto, ergonomia e mobilidade da articulação do pé (Pinheiro *et al.*, 2019).

A Fig. 9 mostra o gráfico da variação percentual em *MET* dos ensaios realizados, derivados deste estudo, apresentando alguns dos valores acima referidos.



**Figura 9 - Variação percentual dos custos metabólicos em relação à marcha sem exosqueleto**

**Fonte: Pinheiro, Quinto, Gonçalves, & Silva (2019)**



## **CAPÍTULO 2**

### **METODOLOGIA**

Neste capítulo estão apresentados os métodos de trabalho adaptados para esta investigação, assim como a forma como os dados foram registados, analisados e tratados. O presente estudo foi dividido em duas fases, sendo a primeira associada à identificação de requisitos operacionais para a utilização de um exosqueleto em ambiente operacional, no âmbito da Artilharia, e a segunda associada ao ensaio experimental de um protótipo de um exosqueleto para apoio à marcha, em ambiente laboratorial.

#### **2.1 Fase da Identificação de Requisitos**

Na primeira fase do trabalho, foi feita uma recolha de informação baseada em artigos e revistas científicas assim como em livros relacionados ao tema, onde se foram retirar as ideias primárias do assunto, assim como, à doutrina do Exército no que toca à Artilharia. Deste modo, conseguiu-se obter a base inicial de conceitos, técnicas e procedimentos para estruturar os objetos de registo e estudo nas observações, e assim enquadrar a investigação. Fez-se trabalho de campo na Escola das Armas relativo à medição de pesos, distâncias e registos vídeo-fotográficos no sentido de caracterizar a atividade operacional da Artilharia de Campanha. Executaram-se duas observações, uma em cada exercício tático, tendo a primeira como objetivo a adaptação e exploração do processo de observação e de preparação. A segunda, foi realizada segundo o método de observação estruturada não-participante (Vilelas, 2009), com a adição de uma lista de verificação estruturada (*checklist*) (Apêndice A), constituindo-se como um elemento quantitativo de avaliação da atividade observada. Utilizou-se o método estatístico para obter dados relativos às sensações de cada homem ao executar os movimentos típicos do ambiente operacional. Para isto foram distribuídos inquéritos por questionário de perceção de esforço e frequência dos movimentos executados, aos membros considerados para a amostra da investigação (ver Apêndice C). Este método reduz os fenómenos reais a termos quantitativos. Assim, facilita ao investigador a quantificação matemática dos numerosos factos, que vão permitir o estabelecimento de

relações existentes entre eles e deduzir consequências dos factos analisados (Vilelas, 2009). Ainda, a utilização de entrevistas não-estruturadas ao longo dos exercícios, isto é, conversas informais com pessoal experiente na matéria a observar, levou à obtenção de informação pertinente ao estudo.

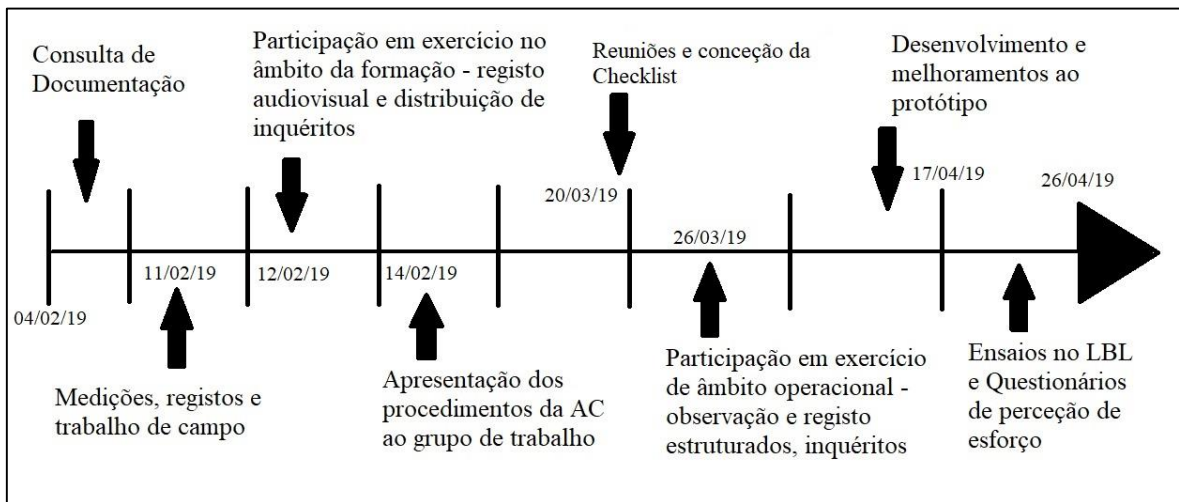
Com o fim de preparar o trabalho de campo executado, realizadas várias reuniões com o grupo de trabalho do Instituto Superior Técnico, em que participaram o Professor Miguel Tavares da Silva (responsável pelo LBL), Sérgio Gonçalves (Técnico do LBL e doutorando do IST), Ivo Roupa (Doutorando do IST) e o Major Luís Quinto (Docente da AM e doutorando do IST). A primeira reunião antecedeu à participação no primeiro exercício e pretendeu enquadrar o grupo de trabalho na atividade operacional da Artilharia. Dessa reunião surgiu a informação necessária para a elaboração do inquérito de perceção do esforço utilizado neste estudo. Após a participação no primeiro exercício, foi realizada nova reunião, em que foram apresentados os dados recolhidos durante o mesmo, servindo esta informação de base para o desenvolvimento de uma ficha de verificação para o registo da atividade física durante a próxima observação (ver Apêndice A). Aqui foram analisados também os registos audiovisuais adquiridos no primeiro exercício, no sentido de enquadrar o grupo naquilo que é o esforço e custo dos militares, no âmbito do empenhamento operacional da Artilharia de Campanha.

## **2.2 Fase do Trabalho Experimental**

Na segunda fase, foi utilizado o método experimental tendo, numa fase inicial, sido necessário realizar algumas alterações ao conceito existente, indo ao encontro das propostas e melhorias das publicações que antecederam este trabalho. Durante este período, foram realizadas várias tarefas no IST, nomeadamente, LBL e oficina de mecânica, que foram essenciais para o melhoramento da construção, funcionalidade e fiabilidade da estrutura existente. Após o exosqueleto estar operacional e fiável, foram realizados os ensaios em laboratório (LBL), indispensáveis para a avaliação das necessidades metabólicas durante a marcha, através de espirometria. No final de cada ensaio, o participante preencheu um inquérito qualitativo de perceção de funcionamento (Anexo B), de forma a se obter uma noção intrínseca do efeito do exosqueleto.

Finalmente, foram feitas as análises e tratamento dos resultados obtidos de modo a identificar os requisitos finais do emprego dos exosqueletos em ambiente operacional, tendo em conta as necessidades e possibilidades das FA, assim como demonstrar os efeitos que

estes sistemas conseguem proporcionar ao combatente, fazendo sempre esforços para a evolução do soldado. A figura 10 ilustra o enquadramento temporal do trabalho.



**Figura 10 - Fita do Tempo da metodologia adotada**

Como pergunta de partida foi escolhida: “Qual é a aplicação e utilidade de um exosqueleto em ambiente operacional no âmbito da Artilharia de Campanha?”

O quadro seguinte apresenta as perguntas derivadas da investigação:

**Tabela 2 - Perguntas Derivadas**

<b>Perguntas Derivadas</b>
<b>PD1: Quais são as posições e movimentos típicos do ambiente operacional?</b>
<b>PD2: Quais são os equipamentos e materiais que o combatente de Artilharia transporta e/ou maneja em ambiente operacional?</b>
<b>PD3: Quais são os requisitos necessários aos exosqueletos para a sua utilização em ambiente operacional nas missões de Artilharia de Campanha?</b>

## **CAPÍTULO 3**

### **MÉTODOS E MATERIAIS DE RECOLHA DE DADOS**

Este capítulo refere-se a todo o contexto de observação espaço-temporal, descrevendo-se os métodos e técnicas de recolha e tratamento dos dados e as ferramentas utilizadas para tal.

#### **3.1 Fase de Identificação de Requisitos**

Seguindo a ordem cronológica da investigação, a consulta da informação referente ao espectro de atividades artilheiras, táticas e técnicas utilizadas, funções das subunidades até ao combatente individual e outras doutrinas achadas relevantes, foi feita através da documentação adquirida ao longo do tempo de ensino na Academia Militar, assim como publicações doutrinárias do EP.

De seguida, foi pertinente o deslocamento à Escola das Armas, no decorrer de exercícios de formação, onde se conseguiu registar o peso do material que os homens das secções carregam e transportam, nomeadamente: o peso de munições de Artilharia, caixas com o material do obus, material individual de combate (colete, capacete e arma) e, inclusivamente, uma aproximação do peso que cada homem tem que levantar ao elevar o obus do chão para conteirar ou atrelar/dsatrelar. Os processos de pesagem foram realizados tanto na Escola das Armas, como em ambos os Exercícios de tiro em que ocorreram as observações. Para tal foi utilizada uma balança calibrada, sendo o processo repetido cinco vezes, para cada um dos materiais, sendo após isso calculada a média dos valores registados. A amostra deste estudo foi formada pelos elementos das secções de uma Btr de AC, ou seja, os militares em estudo foram os militares de Artilharia que executam as atividades exclusivas da arma de Artilharia. Estas atividades incluem todo o empenhamento envolvente aos obuses, assim como tarefas explícitas artilheiras.

Participou-se no exercício com a Academia Militar, a 12 de fevereiro de 2019, em Vendas Novas, no âmbito do ensino dos alunos de Artilharia do 4º ano, onde também participaram os instruendos do CFS (Curso de Formação de Sargentos) de Artilharia. Aqui

fez-se a observação direta das atividades artilheiras em âmbito de exercício, recorreu-se ao registo audiovisual das mesmas e avaliaram-se as distâncias que cada homem percorre no desempenhar das suas funções, tentando-se perceber quem seriam aqueles que executavam mais vezes certos movimentos e quem seriam os que carregavam mais material.

Após um dia de observação, procedeu-se à entrega dos inquéritos por questionário aos executantes relevantes para o estudo, bem como do consentimento informado (Apêndice B). A amostra neste exercício foram 25 militares. Este inquérito foi o mesmo para todos os participantes do exercício e foi construído com base na documentação consultada anteriormente em coordenação com investigadores do LBL, no IST. Foi constituído por perguntas relativas tanto à frequência dos movimentos, como à sua intensidade, procurando assim estudar os esforços segundo estas duas vertentes. Consistia em escalar de 1 a 10 (sendo que 1 seria o nível mais baixo de frequência e intensidade e 10 seria o mais alto) determinados movimentos típicos das atividades em Artilharia nas diversas funções dos homens de uma secção, desde Cmdt Sec, serventes (S1, S2, ...) e condutor. Os participantes foram solicitados a identificar a localização das regiões musculares mais afetadas durante e após um exercício desta natureza, onde os militares indicaram as regiões com maior *stress* muscular, identificando-as num esquema. No final do questionário foi incluída uma pergunta aberta para dar liberdade ao participante de referir qualquer tarefa exigente/pertinente não explícita no inquérito, que o indivíduo achasse pertinente referir para o estudo.

Durante o segundo exercício, a 26 de março de 2019, em Sta. Margarida, integrado no exercício “*Strong Impact*”, procedeu-se à segunda observação. Aqui houve uma base de estruturação mais sólida e concreta, onde se recorreu à utilização de uma *checklist* de registo dos acontecimentos ao longo das atividades da Btr empenhada – parte da Bateria do Regimento de Artilharia nº 4, em Leiria. Nesta observação foi possível o registo da atuação da Artilharia num âmbito operacional, ao contrário do anterior âmbito de formação. A *checklist* utilizada, é formada por uma tabela dividida pelos vários elementos duma secção e subdividida nos movimentos típicos que estão enunciados nos inquéritos, de modo a possibilitar a comparação de resultados. Foi construída com base nas distâncias avaliadas nas observações e na documentação consultada relativa ao peso da carga aconselhada a transportar (ver 1.3). Nas observações foi registado o número de vezes que determinado militar executava determinado movimento, assim como uma estimativa dos pesos que este carregava e as distâncias que ele percorria com esse peso. Após o término das atividades desse dia e de mais entrevistas não-estruturadas ao pessoal experiente da Btr, foram

distribuídos os mesmos inquéritos que no primeiro exercício, aos militares pertencentes à amostra em estudo. Neste caso, a amostra continha 17 militares, e que juntando com a amostra do exercício anterior, totaliza uma amostra final de 42 militares.

### **3.2 Fase do Trabalho Experimental**

#### **Evolução do Conceito Existente**

Com a informação consultada, observações feitas e dados percecionais recolhidos, dá-se o começo dos ensaios em laboratório.

Iniciou-se um processo de análise e melhoria do protótipo existente, visto que haviam sido identificadas melhorias necessárias ao bom funcionamento do protótipo e à correta execução do procedimento de ensaio. Dentro das possibilidades do grupo de trabalho e do tempo disponível, foi possível aperfeiçoar aspetos relativos aos ensaios realizados no estudo anterior com este exosqueleto. Em seguida, são apresentadas as limitações identificadas numa fase anterior do trabalho e as soluções implementadas com vista à evolução do conceito. As limitações identificadas focaram principalmente a fiabilidade, peso e conforto da estrutura e a repetibilidade dos ensaios, sendo estas:

1 – Desenvolvimento de uma estrutura que garanta que o comprimento dos vários segmentos mola + cabo + manilha de fixação utilizados no ensaio se mantêm constantes, garantindo que a embraiagem bloqueia sempre nas mesmas condições, assegurando a repetibilidade dos ensaios.

- Utilização de uma estrutura rígida com possibilidade de gerar uma tensão equivalente à tensão de serviço do conjunto, possibilitando cortar e fixar os cabos segundo a medida previamente definida. Para garantir a tensão no cabo, foi utilizada uma massa de 2kg como peso de referência – valor definido no estudo anterior do grupo de trabalho.

2 – Perceber o motivo da quebra frequente do cabo e garantir a sua robustez.

- Substituição do sistema de fixação do cabo na polia, alterando de um sistema fixo para um sistema aparafusado. Esta alteração permitiu a mudança mais eficiente dos cabos durante os ensaios e tornar o sistema mais robusto;

- Utilização de um tubo de plástico para revestir o parafuso, de modo a aumentar a superfície de contacto com o cabo e diminuir os pontos de acumulação de tensões, reduzindo o risco de rotura.
- 3 – Atuação da embraiagem variável (não fiável) – identificação de erros.
- Troca de parafusos em uso para parafusos métricos e aplicação de porcas freadas, permitindo manter o aperto desejado para o bom funcionamento do sistema;
  - Implementação de um protocolo de lubrificação dos rolamentos do sistema, baseado na *National Precision Bearing* (National Precision Bearing, 2019). Passou-se a lubrificar os rolamentos com óleo específico, antes e após cada ensaio durante 15min em cada face dos rolamentos, de modo a permitir que o efeito de gravidade facilitasse a penetração do óleo no rolamento.
- 4 – Mola de retorno da embraiagem parte frequentemente.
- Seleção de uma mola específica para a aplicação (Ref. Fanamol S1144);
  - Alteração do sistema de fixação da mola de retorno para possibilitar o alinhamento da mola e o seu correto funcionamento.
- 5 – Exosqueleto desconfortável na zona de contacto com a canela.
- Aplicação de uma espuma específica na parte interior da estrutura para reduzir o efeito de fricção com a perna.
- 6 – Tamanho do calçado utilizado no exosqueleto limitado a 43.
- Enchimento com algodão para números e calçado menores;
  - Calçado de tamanho 44,5 contemplando números de calçado maiores.
- 7 – A máscara de inalação dos participantes nos ensaios não selava perfeitamente.
- Correção da posição do arnês e utilizadas fitas complementares elásticas para uma fixação mais eficaz da máscara.
- 8 – Avaliar a hipótese de utilizar velocidades diferentes nos ensaios consoante o participante.

- Opção de utilizar sempre a mesma velocidade (4km/h), para reduzir variabilidade dentro do estudo e entre o estudo anterior.

9 – Minimizar o peso da estrutura.

- Substituição da mola de 60g por uma de 20g – perda de 40g (esta mola não foi utilizada no presente trabalho para possibilitar o tratamento dos dados juntamente com os adquiridos anteriormente);
- Substituição da manilha de aço de ligação mola-estrutura por uma de alumínio – perda de 17g.

Estas melhorias e evolução do conceito do exosqueleto existente, procuram alcançar o aumento do conforto (redução do *feedback* negativo quanto ao conforto), a redução da massa da estrutura, e aumento da robustez e fiabilidade do exosqueleto (apenas uma avaria - quebra do cabo - ao longo de todos os ensaios). O método de medição do conjunto cabo + mola + manilha, a seleção da mola de retorno e alteração do sistema de fixação e o procedimento de lubrificação dos rolamentos conduziram ao aumento da repetibilidade do ensaio.

### **Ensaio dos Exosqueletos em Laboratório**

Os ensaios foram realizados segundo o protocolo do *Six Minute Walk Test*. Este é um teste muito usado em exames clínicos e consiste em fazer a pessoa andar durante 6 minutos numa superfície plana e verificar a distância que essa pessoa percorre durante o período referido. Pretende avaliar as respostas do sistema cardiovascular, circulatório, nervoso, muscular e outros aspetos de índole metabólica (American Thoracic Society, 2002). Foi escolhido este sistema porque é de fácil e rápida execução e é exequível com os recursos disponíveis.




Esta fase foi realizada com o apoio de 7 pessoas voluntárias que executaram os testes. Os voluntários foram selecionados, de acordo com determinados requisitos, nomeadamente: não ter nenhuma patologia ao nível do sistema locomotor, praticar atividade física regularmente e pertencer às FA.

O protocolo utilizado na realização dos ensaios foi o mesmo que no estudo anterior, realizado por Pinheiro (2018). Foi usada uma passadeira *WolfMedica Marathon Medical* e



o analisador de gases respiratórios *Exercise Physiology System (PL3508B80) - ADInstruments*. Os valores são apresentados percentualmente e representam a variação dos *MET (Metabolic Equivalent Task)*, que é uma unidade de medida que relaciona o volume de oxigênio usado numa determinada tarefa e o volume de oxigênio usado quando em repouso (McArdle, Katch, & Katch, 2010).

Como o estudo pretende avaliar os efeitos dos vários tipos de molas aplicadas ao exosqueleto, foram utilizadas três molas distintas no comprimento e constante de elasticidade nos ensaios: A-1, A-2 e F-1. A Fig. 11 mostra as características dessas molas.

Mola	Peso	Dimensões	Representação
F-1	0.065 kg	$\phi 20.0 \times 97.0 \text{ mm}$	
A-1	0.015 kg	$\phi 14.9 \times 52.5 \text{ mm}$	
A-2	0.020 kg	$\phi 14.1 \times 65.5 \text{ mm}$	

**Figura 11 - Características das molas utilizadas nos ensaios**

**Fonte: Retirado de Pinheiro, (2018).**

A sequência dos eventos para o cumprimento dos ensaios foi a seguinte:

- 1 – Lubrificação dos rolamentos durante 15 minutos em cada face e ligar o sistema de espirometria e a passadeira;
- 2 – Início da marcha de 25 minutos por parte do participante para adaptação do corpo ao andar numa passadeira;
- 3 – Preparação e montagem do sistema de espirometria;
- 4 – Após os 25min o participante calça os exosqueletos, que neste momento não se encontram com mola montada e anda 10 minutos. O objetivo é a pessoa adaptar-se a andar com um exosqueleto nas pernas;

5 – O participante senta-se, calça o seu calçado e é-lhe colocada a máscara espirométrica ligada ao sistema;

6 – Início do registo dos valores de espirometria relativos à fase de repouso (nesta fase o participante está sentado durante 7 minutos, onde lhe são registados os valores espirométricos base, por forma a comparar com os valores do período de atividade);

7 – Marcha sem os exosqueletos acoplados, durante 7 minutos (os 30 segundos finais e iniciais são desprezáveis por motivos de adaptação do corpo e por o voluntário ter a noção do tempo até ao final do teste) – aqui o objetivo é observar os valores espirométricos da sua marcha natural;

8 – O participante senta-se e descansa 7 minutos para voltar à sua respiração inicial. A esta fase dá-se o nome de Recuperação. Nesta fase pretende-se que a pessoa volte ao estado basal e os valores não sejam influenciados pela fadiga. Aqui também são registados valores espirométricos;

9 – Início da fase de repouso 7’;

10 – São colocados os exosqueletos sem mola e início da marcha 7’;

11 – Fase de recuperação 7’;

12 – Fase de repouso 7’;

13 – Marcha com molas 7’;

14 – Fase de recuperação 7’;

Neste momento, estas três fases são repetidas 3 vezes, com as molas associadas ao estudo (A-1, A-2 e F-1).

15 – Fim do registo de valores da espirometria;

16 – Lubrificação dos rolamentos e desinfeção do material;

Durante o procedimento, a ordem de ensaio das molas foi definida de forma aleatória de modo a minimizar o efeito da ordem do ensaio nos resultados. Aquando da montagem das molas foram verificados os apertos dos vários parafusos instalados na embraiagem.

Foi ainda realizado o procedimento de calibração do sistema de espirometria, de modo a garantir o seu bom funcionamento. Este procedimento foi realizado apenas no início de cada ensaio, durante as quatro primeiras aquisições, revelando-se insuficiente. Após a deteção deste problema, as calibrações foram realizadas entre cada secção de ensaios, durante a troca das molas.

No final os participantes são solicitados a responder ao inquérito do ensaio. Caso haja alguma avaria ou rutura de material durante o ensaio, este cessa e essa secção do ensaio é repetida.

## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS**

Neste capítulo estão agrupados os resultados obtidos nas duas fases desta investigação. Estes resultados são originários dos inquéritos e das observações realizadas em contexto de Exercício Tático e das várias medições e registos realizados, durante a fase de identificação de requisitos, e dos ensaios da fase de trabalho experimental, bem como dos inquéritos aí distribuídos.

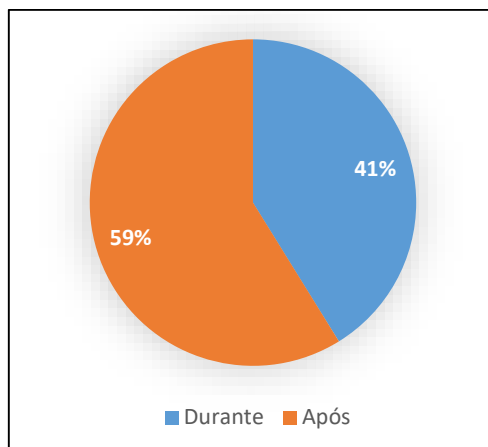
#### **4.1 Fase de Identificação de Requisitos**

Com vista a permitir a identificação dos requisitos necessários para um exosqueleto e respondendo à pergunta derivada nº2, “Quais são os equipamentos e materiais que o combatente de Artilharia transporta e/ou maneja em ambiente operacional?”, foram registados os pesos dos materiais habitualmente manuseados pelos militares de Artilharia, durante a sua atividade operacional.

Das medições de pesos de material e equipamento que se efetuaram, destacam-se as seguintes:

- Munição 105mm de Percussão Explosiva pronta a carregar: 19,4kg
- Cunhete selado com duas munições: 56,4kg
- Caixa com colimador (material mais pesado que vai na viatura da secção): 23,5kg
- Peso total do equipamento individual do combatente em exercício (arma não municada, colete tático vazio, capacete tático): 8,2kg

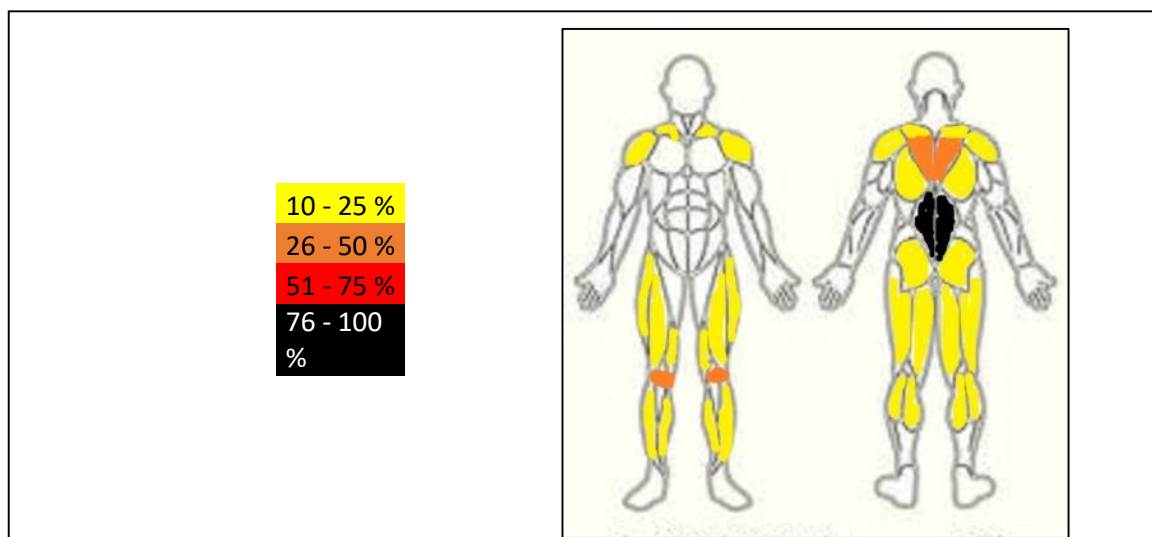
Dos Inquéritos de Avaliação de Esforço (IAE) distribuídos nas duas observações retiram-se os seguintes gráficos. Note-se que os inquéritos foram os mesmos em ambos os exercícios, daí se considerar apenas uma amostra. A Fig. 12 ilustra os resultados relativos à primeira pergunta, onde se questiona se o inquirido sente dores durante ou após um exercício no âmbito da Artilharia.



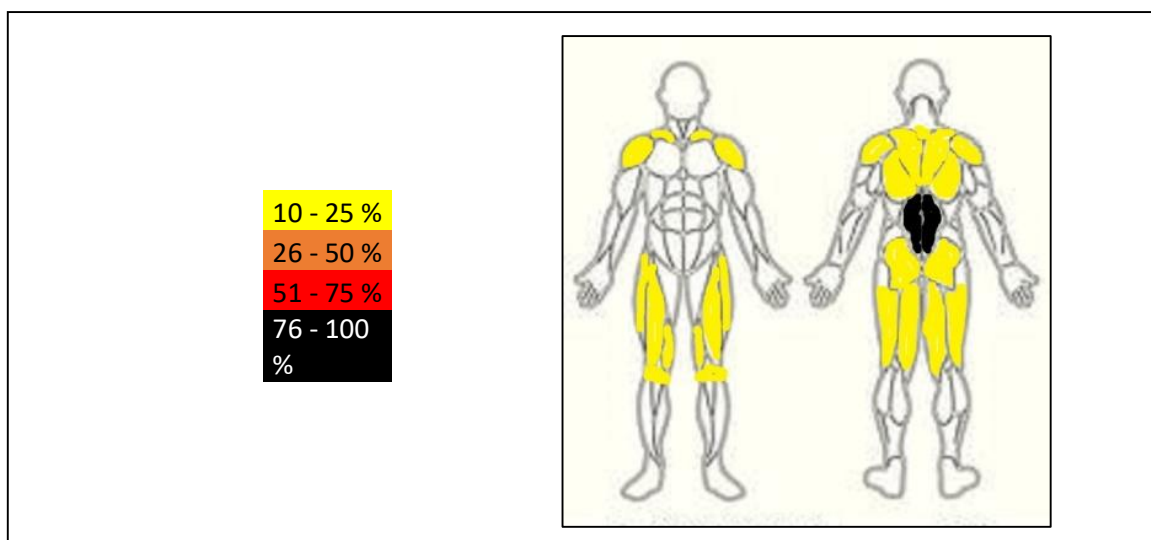
**Figura 12 - Resultados do IAE à pergunta "Durante um exercício no âmbito da Artilharia, sente dores?"**

Das respostas afirmativas, retira-se que 59% dos inquiridos sente dores após o exercício e 41% durante a sua realização.

As duas ilustrações seguintes representam, em percentagem, o foco das regiões corporais mais afetadas durante e após o exercício, dividida por cores. A Fig. 13 ilustra essas percentagens durante a execução do exercício. A Fig. 14 ilustra as mesmas percentagens após a execução do exercício.



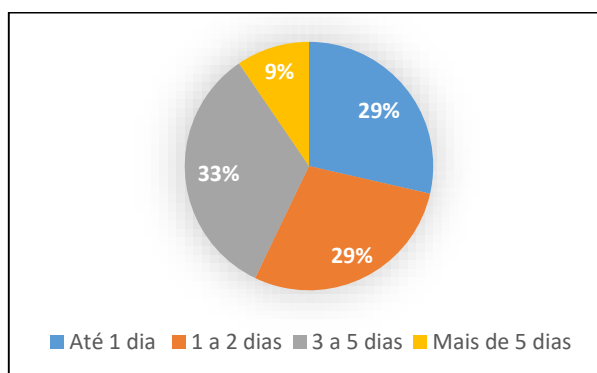
**Figura 13 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, indique as regiões musculares, durante o exercício."**



**Figura 14 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, indique as regiões musculares, após o exercício."**

Daqui retira-se que as regiões mais incidentes são, quer durante, quer após o exercício, a região lombar, com valores entre 76 e 100% dos inquiridos. Zonas musculares como pernas (parte posterior e anterior), ombros e região trapezoidal apresentam valores entre os 10% a 25%. Existe ainda alguma incidência nos joelhos e romboides.

A Fig. 15 apresenta os resultados referentes ao tempo de persistência das dores sentidas pelos inquiridos, separando esse período em: até 1 dia, 1 a 2 dias, 3 a 5 dias e mais de 5 dias.



**Figura 15 - Resultados do IAE à pergunta "Se sim, quantos dias duram essas dores?"**

Verifica-se que, na maioria dos casos, essas dores podem durar até 5 dias, o que demonstra que se trata de lesões agudas (dores temporárias decorrentes do esforço físico). Dores que durem entre os três a cinco dias representam 33% dos inquiridos, o que pode

apontar para danos do tecido muscular mais profundos. E mais de cinco dias apresentam apenas 9%, o que indica que apenas nesta parte da amostra haverá risco potencial de lesão crónica na execução destas funções.

A próxima parte do inquérito foi dividida por tarefas elementares que o combatente de Artilharia executa, tendo sido solicitado que os mesmos os classificassem quanto à sua frequência de execução e intensidade do esforço, de 1 a 10. Os gráficos referentes a esta secção, devido à extensão de conteúdo, foram remetidos para apêndice (Apêndice D), destacando-se aqui apenas os resultados mais significativos para este trabalho:

O Cmdt Sec apresenta valores relevantes em frequência nas tarefas de caminhar e subir/escalar a locais altos, com valores de 6,8 e 5,4, respetivamente;

O S2 apresenta valores relevantes de frequência nas tarefas de transporte de material pesado (6,3) e levantamento de pesos com agachamento (6,4);

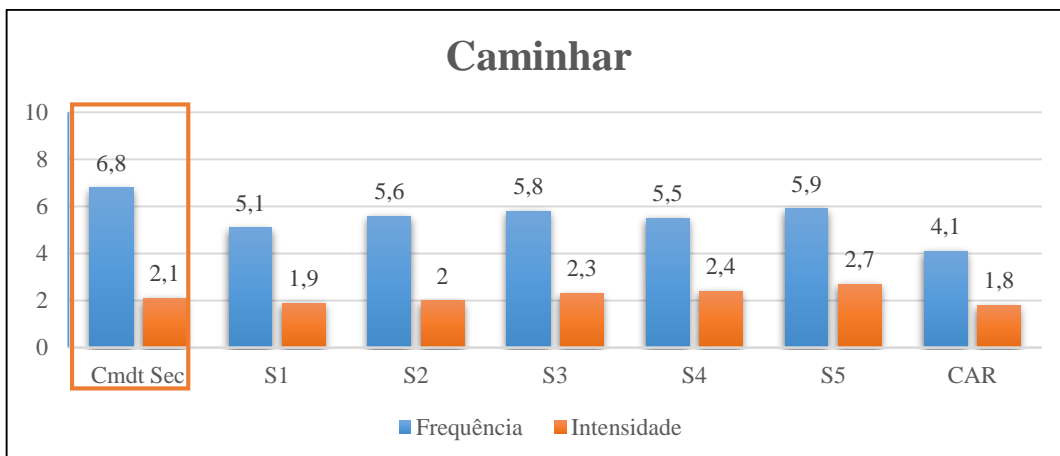
O S3 apresenta valores relevantes de frequência nas tarefas de transporte material pesado (7,1) e levantamento de pesos sem (7,2) e com agachamento (7,1), respetivamente. Em intensidade, os valores registados foram de 5,4; 5,5 e 5,3 nas mesmas tarefas.

O S4, apresenta valores relevantes de frequência nas tarefas de transporte material pesado (7,4) e levantamento de pesos sem (7,4) e com agachamento (7,2). Para a intensidade, registaram-se os valores de 5,6; 5,6 e 5,5 nas mesmas tarefas.

O S5 apresenta valores relevantes de frequência, com valores de 8,2 no “correr”, 7,5; 7,6 e 7,3 nas tarefas de transporte de material pesado e levantamento de pesos sem e com agachamento, respetivamente. Em intensidade, apresenta valores consideráveis, de 4,6; 5,8; 5,4 e 5,4 nas mesmas tarefas, respetivamente.

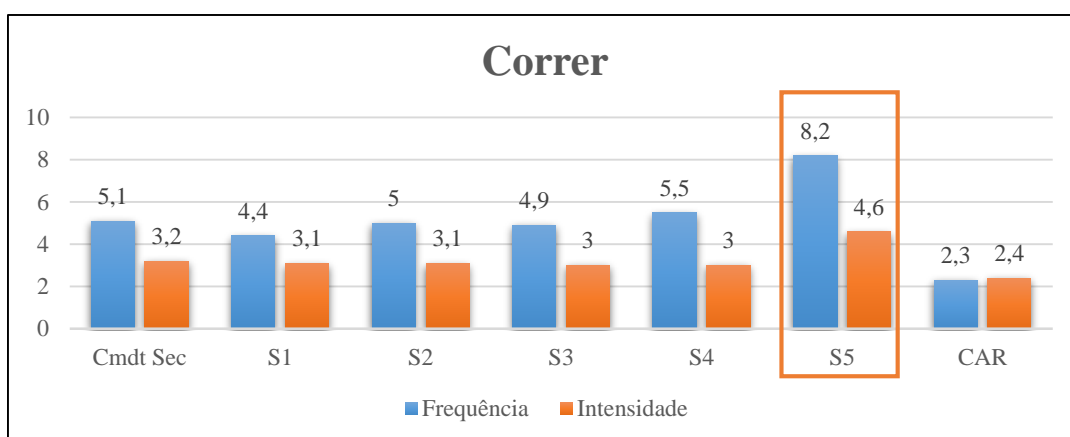
O condutor apresenta esforços relevantes em frequência, com valores de 5 e 4,2 em tarefas como subir/escalar locais altos e caminhar, respetivamente.

Adicionalmente, analisou-se a informação de forma mais simplificada ao separar os gráficos por tarefa, onde se podem ver os valores médios de cada militar, quer quanto à frequência, quer quanto à intensidade, utilizando a mesma escala de 1 a 10. Pretende-se aqui identificar quais as tarefas mais exigentes em relação a cada movimento estudado. Os resultados obtidos são apresentados em seguida, nas figuras 16 a 21.



**Figura 16 - Resultados do IAE na tarefa "Caminhar"**

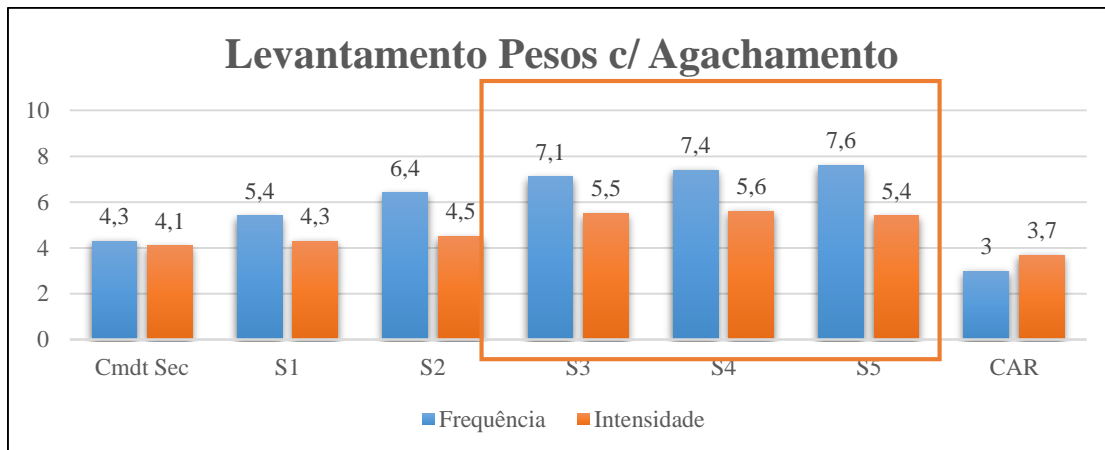
Na tarefa de "Caminhar" destaca-se o Cmdt Sec como elemento que executa mais este movimento, com um resultado de 6,8. No entanto, os valores mais altos para a intensidade vão para o S5 (2,7).



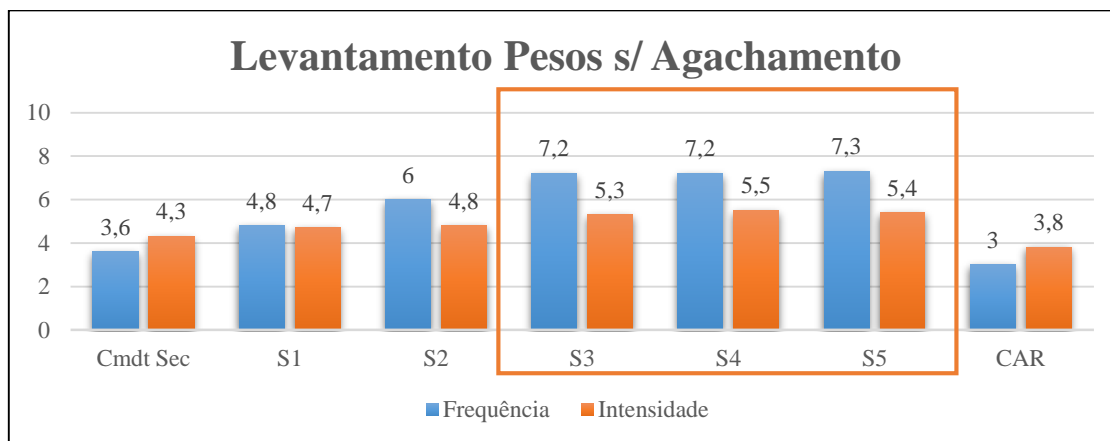
**Figura 17 - Resultados do IAE na tarefa "Correr"**

No "Correr" o elemento em destaque é o S5, com um valor de 8,2 na frequência e 4,6 na intensidade. Valores estes que são radicalmente superiores aos do resto dos elementos.

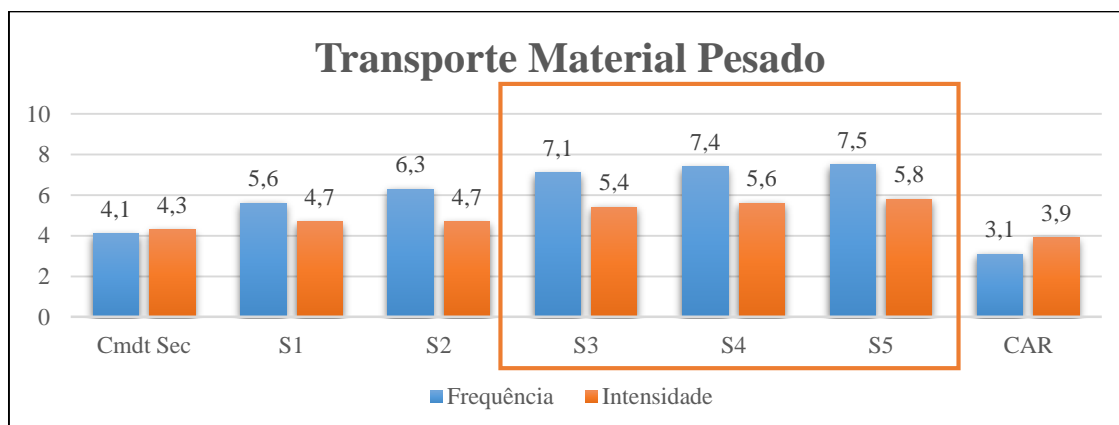
As três figuras seguintes mostram os gráficos referentes às tarefas de movimentação manual de cargas: levantamento de pesos com agachamento, levantamento de pesos sem agachamento e transporte de material pesado.



**Figura 18 - Resultados do IAE na tarefa "Levantamento de Pesos com Agachamento"**



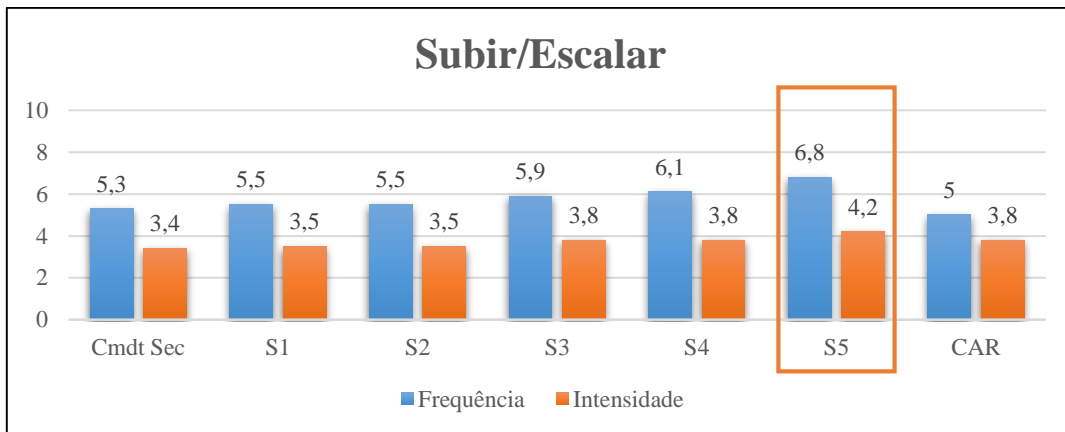
**Figura 19 - Resultados do IAE na tarefa "Levantamento de Pesos sem Agachamento"**



**Figura 20 - Resultados do IAE na tarefa "Transporte de Material Pesado"**

Destas três figuras identifica-se uma especial incidência nos valores de frequência e intensidade nos elementos S3, S4 e S5, sendo os únicos com valores de frequência acima de 7 e valores de intensidade acima de 5.





**Figura 21 - Resultados do IAE na tarefa "Subir/Escalar a locais elevados"**

A Fig. 21 demonstra que o S5 é o militar com maior incidência no movimento de “Subir/Escalar a locais elevados” (Ex: subir ao taipal da viatura), com valores de 6,8 e 4,2, em frequência e intensidade, respetivamente.

Resultante do registo feito na *checklist* durante o 2º exercício, que englobou um registo a um reconhecimento à posição e observação de 3 entradas e saídas de posição, conseguimos retirar os valores mais significativos ao estudo, sendo os seus valores totais apresentados em seguida:

- Reconhecimento
  1. Guias das secções (S5) – valores relativos à marcha com carregamento de material (balizas de conservação de pontaria, marreta, telefone e fios de ligação, placa de secção, estaca de madeira, arma individual, colete tático e capacete) – 1200m.
- 1ª entrada e saída de posição
  1. Cmdt Sec – valores de marcha – 200m.
  2. S3, S4 e S5
    - a. Valores relativos ao levantamento de pesos sem agachamento – 230kg (carga acumulada) + equipamento individual;
    - b. Transporte de material pesado – transporte de cargas dos 15 aos 20kg por distâncias de 50m;
    - c. Cargas com mais de 40kg por 5m + equipamento individual.
  3. S5 – Valores de marcha e corrida – 1000m.

- 2ª entrada e saída de posição
  1. S4 e S5
    - a. Valores de levantamento de pesos sem agachamento – 210kg (carga acumulada);
    - b. Transporte de material pesado – cargas de 3 a 15kg por 5m;
    - c. Cargas com mais de 40kg por 5m + equipamento individual.
  2. S5 – Valores de marcha e corrida – 950m.
  
- 3ª entrada e saída de posição
  1. S5 – Valores de marcha – 700m; valores de corrida – 1250m.

Com base nos dados referidos anteriormente, os movimentos característicos do ambiente operacional são, principalmente, a marcha/corrída e movimentação manual de cargas, quer ao nível do solo, quer a alturas mais elevadas. Ao nível do solo, executam-se levantamentos de pesos de 47,5kg, especificamente durante o manuseamento da plataforma de tiro. Ao nível da cintura, executa-se o movimento de suspensão do obus com uma massa equivalente de 36,8kg. De considerar ainda, o transporte de cargas de 23,5kg a uma elevação de, aproximadamente, 1,5m. São percorridas distâncias até 2500m a caminhar/correr (transportando material individual). Considera-se assim respondida a pergunta derivada nº1 “Quais são as posições e movimentos típicos do ambiente operacional?”.

## **4.2 Fase do Trabalho Experimental**

Nesta fase os resultados derivam maioritariamente dos ensaios no LBL. Os resultados obtidos nos ensaios já apresentam as evoluções do conceito.

### **Resultados dos ensaios experimentais**

Nos gráficos seguintes, podemos ver a relação entre a utilização dos exosqueletos com as diversas molas e os gastos metabólicos correspondentes, divididos pelos 7 participantes. Os participantes apresentam idades entre 22 e 26 anos e um índice de massa corporal (IMC) entre 21,5 e 27,8. Estes resultados contemplam as melhorias introduzidas no

conceito do exosqueleto existente. De referir que, contrariamente aos ensaios anteriores (Pinheiro, 2018), ocorreu apenas uma falha mecânica do exosqueleto durante a realização de todos os ensaios experimentais (ruptura do cabo de fixação da mola). A figura 22 mostra a variação de gastos metabólicos em MET (*Metabolic Equivalent Task*), representados percentualmente, em relação à marcha sem exosqueleto.

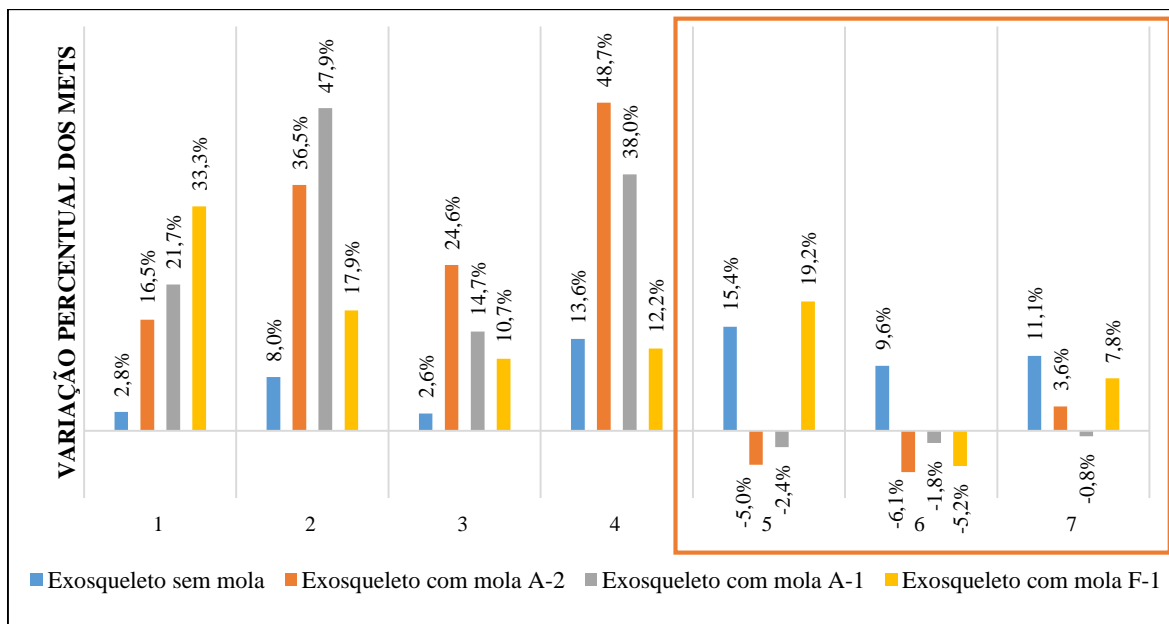
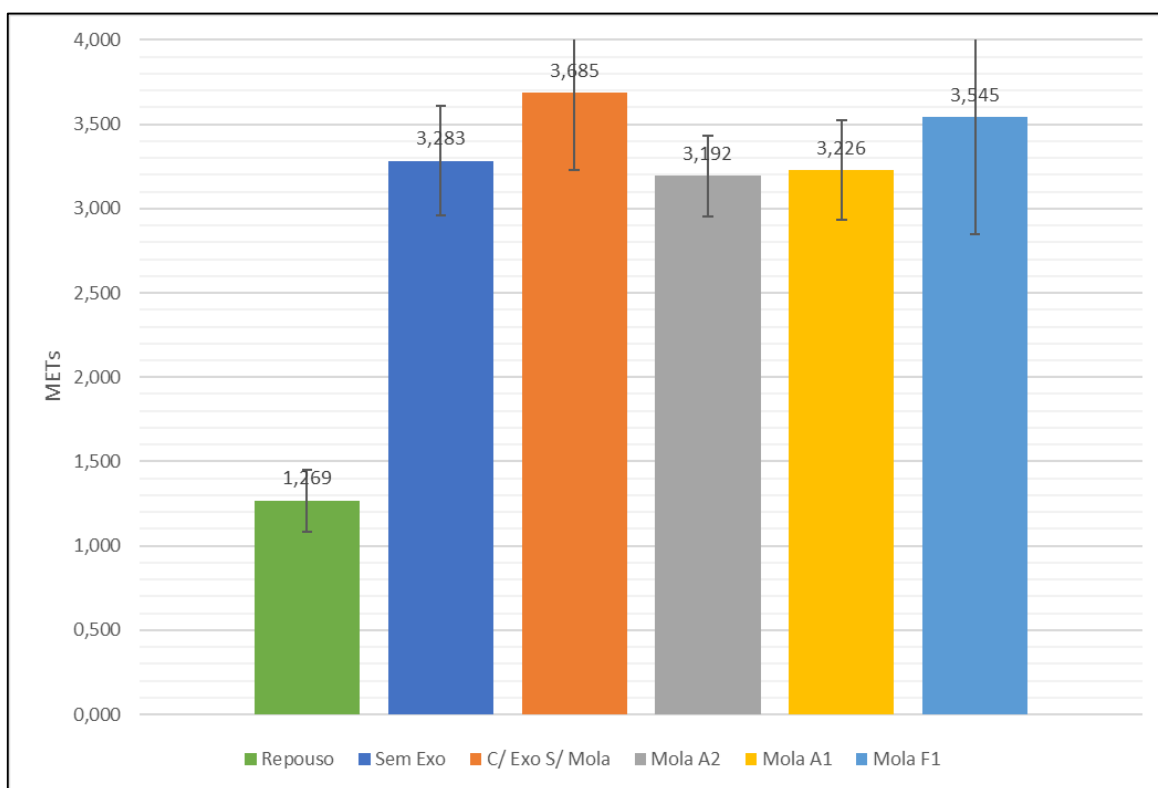


Figura 22 - Variação percentual em MET consoante as molas utilizadas

Na Fig. 22 verifica-se um constante aumento dos gastos metabólicos, desde o voluntário 1 ao 4. De acordo com o referido no ponto 3.2, problemas de calibração levaram a valores incorretos, que foram detetados através da variação dos custos metabólicos em repouso, valores estes que subiam durante o ensaio. O aumento que se observa nas molas, segue o aumento observado no repouso, pelo que os dados foram descartados da amostra inicial. Assim, consideraram-se inválidas as 4 primeiras aquisições. A partir do participante 5, inclusive, os resultados começam a decrescer e a tornar visível o efeito benéfico da estrutura. Os valores obtidos apresentam uma variação entre 19,2% e -6,1%. Nota-se uma redução dos consumos metabólicos nestas 3 pessoas com a mola A-1, embora diminutos (entre -2,4% e -0,8%). Regista-se uma redução mais intensa com a mola A-2 (5,0% e 6,1%) nos participantes 5 e 6, respetivamente. A mola F-1 apenas fornece redução dos consumos no participante 6, de -5,2%. O valor médio registado, considerando a amostra válida, foi de -4,0%.

A figura 23 representa os valores médios de *MET*, apenas da amostra considerada válida (participantes 5, 6 e 7), sob todas as condições do ensaio.



**Figura 23 - Valores em MET consoante a mola utilizada**

No gráfico representado, pode notar-se que o custo metabólico, em fase de repouso, foi de 1,269 *MET*. Os custos metabólicos na situação onde não se utilizou o exosqueleto foram maiores do que os valores obtidos nas aquisições com exosqueleto, utilizando as molas A-2 e A-1. No caso do exosqueleto com a atuação da mola F-1, os valores mostram-se superiores ao registados sem exosqueleto. A condição da utilização do exosqueleto sem mola apresenta sempre valores superiores às demais condições.

### **Resultados dos inquéritos após ensaio**

Este segmento apresenta os resultados dos questionários qualitativos relativos à sensação dos participantes durante a utilização dos exosqueletos em estudo.

Todos os sujeitos responderam que o tempo da adaptação ao exosqueleto era o suficiente (25min). Em relação à percepção de esforço efetuado e percepção do apoio da mola

utilizada, podemos afirmar que os resultados do esforço e do apoio foram medianos, no sentido que estes se situam nos valores do meio da escala (escala de 0 – 4).

A Fig. 24 representa os valores médios, referentes ao esforço sentido por cada voluntário, aquando da utilização de cada mola (três colunas da esquerda) e os valores médios referentes ao apoio sentido pelos mesmos (três colunas da direita).

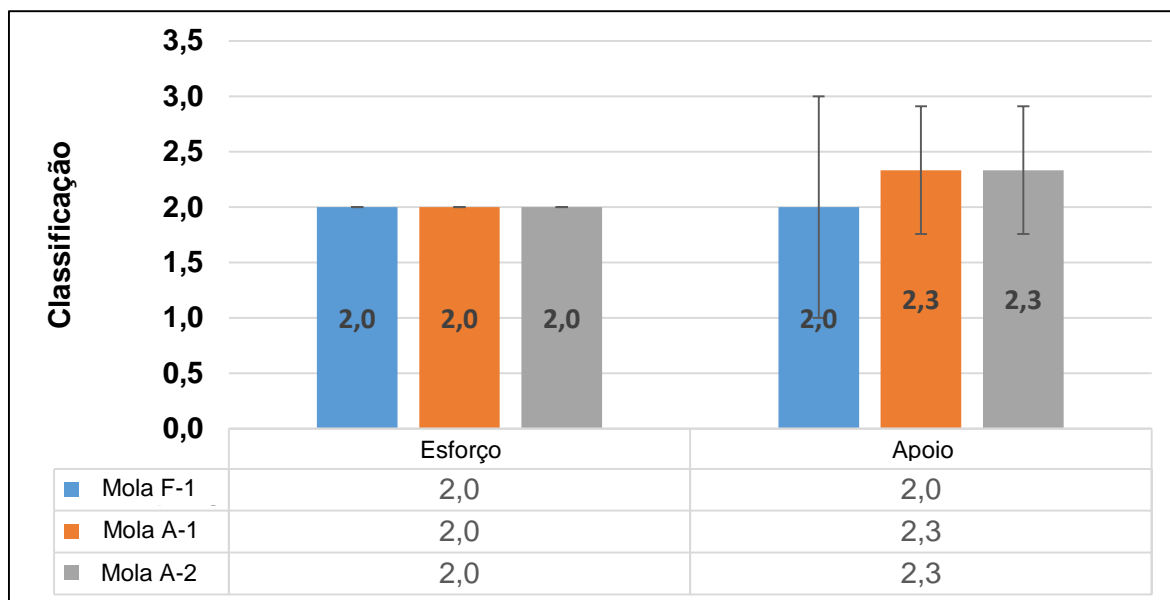


Figura 24 - Perceção de esforço efetuado e de apoio das molas

Os níveis de esforço percecionado são semelhantes em todas as molas, com um valor de 2,0. No apoio sentido, os valores são idênticos para as molas A-1 e A-2 (2,3), e com um decréscimo no valor da mola F-1 (2,0).

A Fig. 25 classifica os exosqueletos em estudo quanto à liberdade de movimento que este permite e quanto ao seu conforto. Tanto a nível de mobilidade como de conforto, os valores atingem os 3,0 numa escala de 0 – 4.

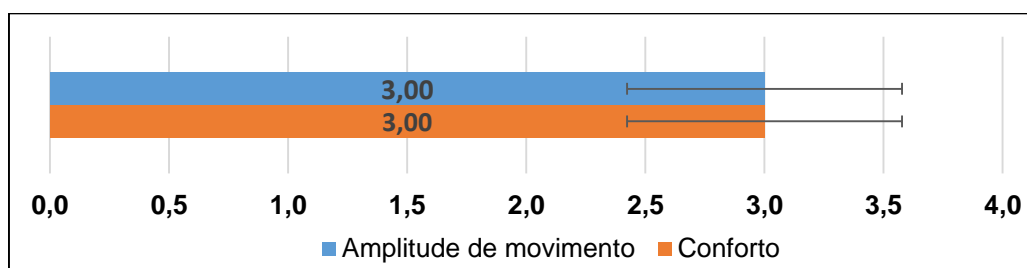


Figura 25 - Classificação quanto à mobilidade e conforto da peça

## **CAPÍTULO 5**

### **DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

#### **5.1 Fase de Identificação de Requisitos**

De acordo com o referido nos capítulos iniciais desta dissertação, a fase de identificação de requisitos foi baseada em três vetores, sendo estes: consulta de documentação (doutrina existente), observações (informação recolhida diretamente pelo investigador) e inquéritos por questionário (informação proveniente da amostra).

Tendo em conta estes três vetores, podemos, através dos gráficos resultantes dos inquéritos, traçar duas abordagens distintas: os movimentos que incidem maioritariamente na marcha/passada, ou seja, onde o foco de esforço é nas articulações do tornozelo e da anca; os movimentos que incidem maioritariamente na movimentação manual de cargas, ou seja, onde o foco de esforço é nas articulações do joelho e anca. No que diz respeito à marcha, os elementos destacáveis são o Cmdt Sec (“caminhar”) e o S5 (“correr”), contudo, esta tarefa enquadra-se, naturalmente, no esforço de todos os militares da observação (valores próximos em todos eles). Ainda neste âmbito, o S5 no “correr” e “subir/escalar”, apresenta resultados significativamente superiores aos restantes elementos. No que toca à movimentação de cargas (transporte de munições, carregamento da plataforma de tiro, carregamento do material da secção, conteirar o obus várias vezes, etc.), relevam-se o S3, S4 e S5 quer em frequência, quer em intensidade. O acesso a locais altos representa um esforço equivalente em todos os militares.

De acordo com os resultados das observações, verifica-se uma tendência em os esforços relativos à marcha serem acentuados no Cmdt Sec e S5, esforços relativos à corrida focados no S5 e esforços relativos à movimentação manual de cargas acentuados nos elementos S3, S4 e S5. Observa-se ainda que, os equipamentos típicos a serem transportados e manejados pelo artilheiro passam pelo equipamento individual de combate (arma, colete, munições e capacete), flechas do obus, caixas com equipamento específico da secção e outros associados à Artilharia. Comparando os resultados destes dois vetores, é evidente que existem semelhanças ao nível do tipo de esforço efetuado, assim como de quem o executa.

Nota-se, em ambos os casos, que as funções que requerem mais trabalho de deslocamento e marcha/passada incidem no Cmdt Sec e S5, enquanto que as funções que requerem mais trabalho de carregamento e transporte de cargas incidem, de um modo geral, no S3, S4 e S5. Ainda, conforme as medições de campo efetuadas e a documentação referente aos limites de peso a carregar e distância a percorrer que um indivíduo deve executar, repara-se que este empenhamento militar ultrapassa certas barreiras.

A legislação nacional indica que o carregamento de pesos frequentemente não deve passar os 20kg, sendo que o artilheiro, várias vezes levanta pesos superiores e até o seu equipamento individual de combate pode ter valores acima deste. Para Monteiro (2014), o indivíduo treinado para a sua função, não deve carregar objetos superiores a 40kg. Sendo o militar um indivíduo treinado especificamente para a sua função, este encontra-se preparado para transportar material até 40kg (Ex: plataforma de tiro do obus). Os dados registados durante a observação permitem concluir que os valores limite para transporte de pesos ponderados com distâncias percorridas não são alcançados.

Os resultados anteriormente referidos encontram-se alinhados com a bibliografia consultada ao nível da atividade operacional da Artilharia de Campanha. Verifica-se assim, ao longo dos três vetores, uma incidência no S5 como o elemento mais propício a ser alvo de elevados níveis de esforço físico no que toca à passada e à movimentação manual de cargas. O S4 e S3, como elementos incisivos na movimentação manual de cargas e o Cmdt Sec com os esforços orientados para a marcha e conservação da postura de pé.

Posto o supracitado, conclui-se que existe correspondência de resultados entre os três vetores da identificação de requisitos. Os dados apresentados pela documentação e doutrina são verificados nas observações diretas de campo e pelos resultados obtidos da percepção intrínseca do militar (inquéritos).

Assim, um exosqueleto ao ser aplicado no âmbito da Artilharia, deve incidir no apoio dos seguintes esforços: caminhar (marchas forçadas e marcha com peso adicional), correr, levantamento de cargas ao nível do solo ou de locais elevados e transporte de material pesado, de acordo com o referido na secção 4.1. Considera-se assim, parcialmente respondida, a pergunta derivada nº3.

## **5.2 Fase do Trabalho Experimental**

Dos resultados dos ensaios extraiu-se informação importante ao desenvolvimento e continuação deste projeto, tornando-se uma fase essencial para o seu sucesso. As melhorias

implementadas no desenvolvimento do conceito tiveram um papel crucial na fiabilidade, repetibilidade e robustez do exosqueleto, bem como nos métodos de ensaio. Em relação ao estudo anterior, a taxa de avarias técnicas do exosqueleto foi drasticamente reduzida, registando apenas uma avaria durante todos os ensaios (rotura de um dos cabos de fixação da mola).

Os valores observados nas primeiras quatro aquisições revelaram problemas ao nível do procedimento experimental, especificamente na calibração do equipamento de espirometria. Após a identificação deste facto, a calibração do equipamento passou a ser realizada após cada secção de ensaios, dentro das aquisições, em complemento à já realizada no início de cada ensaio. Assim, os dados das primeiras quatro aquisições não foram considerados neste estudo. Analisando apenas a amostra considerada, do participante 5 ao 7, os resultados apontam para uma redução dos gastos metabólicos em todos os utilizadores, variando entre -6,1% e -0,8%, com um valor médio de -4,0%.

Comparando com os resultados do estudo anterior, a média dos gastos metabólicos foi reduzida em 1%, e registou-se uma redução dos gastos metabólicos em todos os sujeitos. No entanto, o valor da maior redução registada foi de -6,1%, inferior ao anterior melhor registo de -27,9%. Tal como no estudo anterior, regista-se uma aleatoriedade na mola com melhor resultado para cada sujeito, sugerindo que a mesma deve ser seleccionada de acordo com o utilizador. A obtenção da maior redução por parte de cada sujeito com diferentes molas, implica que estas sejam seleccionadas de acordo com o seu utilizador.

No que diz respeito aos inquéritos pós ensaio, os resultados do esforço percecionado e do apoio da mola dos dois estudos são idênticos. Apresentam um valor médio de esforço sentido por parte do participante de 2,0 e um valor do apoio sentido pela mola de 2,4. Nestes ensaios, a maior parte dos inquiridos conseguiu fazer uma distinção entre o efeito da rigidez das 3 molas, embora pouco definida. Isto aponta para a necessidade de utilizar diferentes tipos de molas e verificar a sua eficácia. Quanto ao conforto e amplitude de movimento, o presente estudo obteve valores de 3,0 nestas duas questões, enquanto que o estudo anterior obteve 3,38 na amplitude de movimento e 2,85 no conforto. Isto aponta para um melhoramento no conforto da estrutura. A comparação da amplitude do movimento não é tão relevante, uma vez que neste âmbito não foram realizadas alterações à estrutura.

Deste modo, o exosqueleto deve apresentar amplitude de movimento, robustez e autonomia adequada ao desempenho da missão na qual está a ser empenhado, considerando-se assim parcialmente respondida a pergunta derivada nº3.



## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta dissertação orientou-se no sentido de analisar e desenvolver um conceito de exosqueleto, aplicado ao ambiente operacional, no âmbito da Artilharia. Assim, foi necessário identificar os requisitos para que um exosqueleto seja funcional e útil dentro deste âmbito. Para isso, recorreu-se a documentação pertinente, trabalho de campo, observações diretas e inquéritos. Os dados foram recolhidos em dois exercícios táticos e técnicos de Artilharia, com o intuito de adquirir informação sobre a atividade operacional, bem como das sensações dos homens que executavam as atividades.

No que diz respeito à pergunta derivada nº1, os movimentos característicos do ambiente operacional passam, principalmente, pela marcha/corrída e pela movimentação manual de cargas, quer ao nível do solo, quer a alturas mais elevadas. Ao nível do solo, executam-se levantamentos de pesos de 47,5kg com o transporte desta carga. Ao nível da cintura, executa-se o movimento de suspensão do obus com uma carga equivalente de 36,8kg. Ainda, transporte de cargas de 23,5kg a alturas de, aproximadamente, 1,5m. Percorrem-se distâncias até 2500m a caminhar/correr (transportando material individual).

Quanto à pergunta derivada nº2, os materiais mais utilizados durante a atividade operacional são o obus, de onde se destaca a plataforma de tiro (95kg) e as suas munições (cunhete com 2 munições – 56,4kg), o material individual de combate pesando 8,2kg e todo o material da secção, de onde se destaca a caixa do colimador com 23,5kg.

Em resposta à pergunta derivada nº3, referente aos requisitos do exosqueleto, este deve apoiar a marcha e a corrida em qualquer tipo de terreno, apoiar a movimentação manual de cargas nas situações referidas na resposta à pergunta derivada nº1. Para além disto, o exosqueleto deve apresentar amplitude de movimento, robustez e autonomia adequada ao desempenho da missão na qual está a ser empenhado.

A partir daqui, podemos responder à nossa pergunta de partida “Qual é a aplicação e utilidade de um exosqueleto em ambiente operacional no âmbito da Artilharia de Campanha?”. Os exosqueletos podem ser utilizados em ambiente operacional na redução do esforço ao nível da marcha e da movimentação manual de cargas, reduzindo assim o risco de lesão.

Relativamente aos ensaios realizados no LBL, da amostra dos 7 militares, apenas 3 foram considerados válidos. Esta ocorrência deriva de dificuldades na calibração do sistema de espirometria. Os resultados obtidos no ensaio experimental do exosqueleto, indicam uma redução dos custos metabólicos durante a marcha, com valores entre -6,1% e -0,8%, com uma média de -4,0%. Os resultados apontam ainda que a mola deve ser selecionada de acordo com o indivíduo.

Apesar da diminuta amostra ensaiada, os dados obtidos são promissores e indicam que a utilização de exosqueletos com sistemas passivos poderá reduzir os custos metabólicos associados à marcha, justificando a sua utilização em operações militares.

Dentro dos constrangimentos sentidos deve considerar-se a dificuldade/morosidade em conseguir realizar ensaios de forma fiável, assim como a falta de experiência na realização de trabalho laboratorial. Ainda neste âmbito realçam-se as dificuldades nos procedimentos da espirometria, que invalidaram mais de metade dos dados obtidos, limitando drasticamente a amostra em estudo. Ao nível da identificação dos requisitos, destaca-se a dificuldade em registar o peso/esforço da atividade operacional da Artilharia de Campanha e o reduzido número de militares nas secções observadas em ambos os exercícios, que conduziu a um também reduzido número de respostas nos inquéritos distribuídos. Ainda, o facto de ser apenas uma pessoa a avaliar o desempenho de cinco militares ao mesmo tempo, torna o processo e os dados menos precisos. O tempo para a obtenção de resultados concretos e fidedignos à investigação foi reduzido (apenas 3 meses), limitando o alcance do trabalho e dos seus resultados.

Em estudos futuros recomenda-se, a consideração do transporte de munições desde a viatura de transporte de munições até ao local da secção, de modo a obter resultados sobre a atividade operacional mais precisos. É essencial a regular calibração do equipamento de espirometria, durante os ensaios, para evitar a invalidação de dados importantes e irrepetíveis. Os dados obtidos no presente estudo deverão ser validados, considerando uma amostra mais significativa. Deverão igualmente ser considerados ensaios envolvendo a movimentação manual de cargas.

## BIBLIOGRAFIA

Academia Militar. (2011). *Tática de Artilharia I - Publicação UC M135 - Teoria*, Lisboa.

Aliman, N., Ramli, R., & Haris, S. (2016). *Design and development of lower limb exoskeletons: A survey. Robotics and Autonomous Systems*.

American Thoracic Society. (2002). *ATS Statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test*. doi.org/10.1164/rccm.166/1/111

Birrell, S. A., & Hooper, R. H. (2007). Initial Subjective Load Carriage Injury Data Collected with Interviews and Questionnaires. *Military Medicine*, 172(3), 306–311. doi.org/10.7205/MILMED.172.3.306

Chen, B., Ma, H., Qin, L.-Y., Gao, F., Chan, K.-M., Law, S.-W., ... Liao, W.-H. (2016). Recent developments and challenges of lower extremity exoskeletons. *Journal of Orthopaedic Translation*, 5, 26–37. doi.org/10.1016/j.jot.2015.09.007

Chen, G., Chan, C. K., Guo, Z., & Yu, H. (2013). A Review of Lower Extremity Assistive Robotic Exoskeletons in Rehabilitation Therapy. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 41(4–5), 343–363. doi.org/10.1615/CritRevBiomedEng.2014010453

Collins, S. H., Wiggin, M. B., & Sawicki, G. S. (2015). Reducing the energy cost of human walking using an unpowered exoskeleton. *Nature*, 522(7555), 212–215. doi.org/10.1038/nature14288

Estado Maior do Exército [EME]. (1988). *MC 20-15 BATERIA DE BOCAS DE FOGO DE ARTILHARIA DE CAMPANHA*. 335, Lisboa.

Estado Maior do Exército [EME]. (2003). *MT\_20-50 Manual do Obus M119 105mm LG/30/m98*, Lisboa.

Estado Maior do Exército [EME]. (2004). *MC 20-100 Manual Tática de Artilharia de Campanha*, Lisboa.

Estado Maior do Exército [EME]. (2007). *MC - 20 Manual do Grupo de Artilharia de Campanha*, Lisboa.

Figueira. (2018). *Programa de Tiro para o obus M114A1 155mm/23*. Trabalho de Investigação Aplicada em Academia Militar, Lisboa.

Fontana, M., Vertechy, R., Marcheschi, S., Salsedo, F., & Bergamasco, M. (2014). The Body Extender: A Full-Body Exoskeleton for the Transport and Handling of Heavy Loads. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 21(4), 34–44. <https://doi.org/10.1109/MRA.2014.2360287>

Herr, H. (2009). Exoskeletons and orthoses: classification, design challenges and future directions. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 6(1), 21. [doi.org/10.1186/1743-0003-6-21](https://doi.org/10.1186/1743-0003-6-21)

Jeremias, A. T. N., & Correia, P. (2016). *EQUIDADE EM SAÚDE NO EXÉRCITO PORTUGUÊS DISTRIBUIÇÃO DE LESÕES MÚSCULO-ESQUELÉTICAS NA ESCOLA DAS ARMAS*. 1. Lisboa.

Kazerooni, H. (2006). The Berkeley Lower Extremity Exoskeleton. *Field and Service Robotics*, (9–15).

Kim, W., Lee, H., Kim, D., Han, J., & Han, C. (2014). *Mechanical design of the Hanyang Exoskeleton Assistive Robot (HEXAR)*. Apresentado na International Conference on Control, Automation and Systems, Coreia.

Knapik, J. (2000). *Physiological, Biomechanical and Medical Aspects of Soldier Load Carriage*. US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine.

Kolakowsky-Hayner, S. A. (2013). Safety and Feasibility of using the Ekso™ Bionic Exoskeleton to Aid Ambulation after Spinal Cord Injury. *Journal of Spine*. <https://doi.org/10.4172/2165-7939.S4-003>

Majumdar, D., Pal, M. S., & Majumdar, D. (2010). Effects of military load carriage on kinematics of gait. *Ergonomics*, 53(6), 782–791. [doi.org/10.1080/00140131003672015](https://doi.org/10.1080/00140131003672015)

McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2010). *Exercise Physiology: Nutrition, Energy and Human Performance* (seventh edition). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Ministério do Emprego e da Segurança Social. *Diário da República Decreto-Lei n.º 226/1993, Série I-A de 1993-09-25.*, Pub. L. No. 330/93, 5391 (1993), Lisboa.

Monteiro, I. (2014). *Movimentação Manual de Cargas Impacto nos Acidentes de Trabalho e Doenças Profissionais em Portugal*. Tese de Mestrado em Escola Superior de Ciências Empresariais, Setúbal.

National Precision Bearing. (2019). Bearing Lubrication for Miniature Bearings. Obtido 29 de Abril de 2019, de [www.nationalprecision.com/miniature-bearings/lubricants.php](http://www.nationalprecision.com/miniature-bearings/lubricants.php)

NATO EOD Centre of Excellence. (2018). *Report from the 2nd Integration of the Exoskeleton in the Battlefield Workshop (2nd IEBWS)*. 16. Bélgica.

Orr, R. M., Pope, R., Coyle, J., & Johnston, V. (2015). *Occupational loads carried by Australian soldiers on military operations*. 18.

Pinheiro, P. (2018). *Development and Analysis of a Passive Ankle Exoskeleton for Reduction of Metabolic Costs in Gait*. Tese de Mestrado em Instituto Superior Técnico, Lisboa.

Pinheiro, P., Quinto, L., Gonçalves, S. B., & Silva, M. T. (2019). *Analysis of the Performance of a Passive Ankle Exoskeleton for Reduction of the Metabolic Costs in Gait*. 2.

Quinto, L., Gonçalves, S. B., & Silva, M. (2017). *Revisão sistemática de exoesqueletos para membros inferiores*. 4.

Ricciardi, R., Deuster, P. A., & Talbot, L. A. (2008). Metabolic Demands of Body Armor on Physical Performance in Simulated Conditions. *Military Medicine*, 173(9), 817–824. doi.org/10.7205/MILMED.173.9.817

Rupal, B. S., Rafique, S., Singla, A., Singla, E., Isaksson, M., & Virk, G. S. (2017). Lower-limb exoskeletons: Research trends and regulatory guidelines in medical and non-

medical applications. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 14(6), 172988141774355. doi.org/10.1177/1729881417743554

Slocombe. (2015). *Military Exoskeletons: Heavier Loads, Faster and For Longer*. 2. Austrália: Venture Media.

Vilelas, J. (2009). *Investigação Construção do Processo do Conhecimento*. Lisboa: Sílabo.

Yang, Z., Gu, W., Zhang, J., & Gui, L. (2017). *Force Control Theory and Method of Human Load Carrying Exoskeleton Suit*. doi.org/10.1007/978-3-662-54144-9

Young, A. J., & Ferris, D. P. (2017). State of the Art and Future Directions for Lower Limb Robotic Exoskeletons. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(2), 171–182. doi.org/10.1109/TNSRE.2016.2521160

Zeilig, G., Weingarden, H., Zwecker, M., Dudkiewicz, I., Bloch, A., & Esquenazi, A. (2012). Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 35(2), 96–101. doi.org/10.1179/2045772312Y.0000000003



## APÊNDICE B: CONSENTIMENTO INFORMADO

### **Declaração de Consentimento Informado, Esclarecido e Livre**

**Entidades Promotoras:** Academia Militar (AM) e Instituto Superior Técnico (IST).

**Investigadores Responsáveis pelo Estudo:** Rafael João da Rocha Ferreira (AM).

**Nome do Estudo:** Análise e desenvolvimento do conceito de Exosqueleto para aplicação em ambiente operacional

**Participação voluntária:** A sua participação é voluntária e pode recusar-se a participar ou retirar-se a qualquer momento, sem qualquer tipo de consequências para si. No caso de decidir abandonar o estudo, a sua relação com a Academia Militar não será afetada.

**Benefícios da participação:** O presente estudo não contempla uma compensação direta para o voluntário. Contudo, os resultados obtidos permitirão aumentar a base de dados de movimentos do Laboratório de Biomecânica de Lisboa, com vista à sua utilização em futuros trabalhos de investigação, podendo desta forma vir a beneficiá-lo ou a outras pessoas no futuro. Os dados serão igualmente usados para validação e aperfeiçoamento dos modelos computacionais desenvolvidos no Instituto Superior Técnico e na Academia Militar.

**Confidencialidade dos dados e anonimato:** Apenas os responsáveis e investigadores participantes no estudo terão acesso detalhado aos dados recolhidos. Após término do estudo, os dados serão arquivados e a confidencialidade dos mesmos, assim como o anonimato, garantido.

**Divulgação dos dados:** A confidencialidade do paciente estará sempre salvaguardada, sendo que apenas dados de carácter científico poderão ser divulgados. Não serão apresentadas nem partilhadas informações de cariz pessoal e imagens nas quais seja possível identificar o voluntário. Será esperado apresentar os resultados do estudo em seminários, conferências e revistas científicas da especialidade.

**Esclarecimentos:** Para qualquer questão relacionada com a sua participação, não hesite em contactar o investigador responsável pelo estudo: rafael\_joao\_rocha@hotmail.com

### **Autorização para Participação no Ensaio**

Li ou foi-me lido o presente documento e estou consciente do que esperar quanto à minha participação no estudo acima mencionado. Tive a oportunidade de colocar todas as questões que pretendi e as repostas esclareceram todas as minhas dúvidas. Assim, declaro que aceito voluntariamente participar neste estudo. Informo igualmente que foi dada, a mim ou ao meu representante, uma cópia deste documento devidamente assinado por um dos responsáveis pelo estudo.

Nome Participante: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Nome do Investigador: \_\_\_\_\_

Data: \_\_/\_\_/\_\_\_\_



## APÊNDICE C: INQUÉRITO DE AVALIAÇÃO DE ESFORÇO

### Inquérito de Avaliação de Esforço

Este inquérito insere-se no estudo ANÁLISE e DESENVOLVIMENTO do CONCEITO de EXOSQUELETO para APLICAÇÃO em AMBIENTE OPERACIONAL e pretende avaliar a perceção de esforço físico do combatente durante e após a execução de Missões de Tiro de Artilharia. Ao preencher o questionário tenha por favor em atenção que:

1. A maioria das questões foi concebida de modo a ser respondida através de uma escala que representa a opinião que tem sobre o assunto objeto de estudo. Assinale a resposta com um (X) ou enumere.
2. Não existem respostas corretas nem incorretas. Apenas se pretende obter a sua opinião.
3. As suas respostas são confidenciais e anónimas.
4. Se alguma questão for difícil de responder, responda o melhor que puder sem, entretanto, deixar de responder às questões.
5. Em caso de dúvida não hesite em questionar o investigador presente.

Investigadores responsáveis pelo estudo: Rafael João da Rocha Ferreira (Academia Militar), Luís Filipe Pratas Quinto (Academia Militar, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa), Miguel Tavares da Silva (LAETA, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa)

**1. Qual a sua unidade?**

**2. Quantos exercícios, no âmbito da Artilharia, já participou no passado?**

0

1 a 4

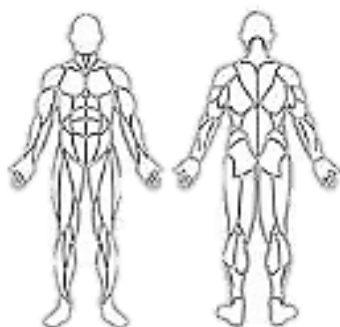
Mais de 4

**3. Durante um exercício no âmbito da Artilharia, sente dores?**

Sim

Não

**4. Se sim, em que região do corpo? Pinte a região correspondente.**

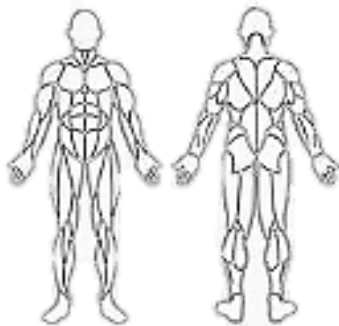


**5. Após um exercício no âmbito da Artilharia, sente dores?**

Sim

Não

**6. Se sim, em que região do corpo? Pinte a região correspondente.**



**7. Se sim, quanto tempo duram essas dores?**

- Até 1 dia
- 1 a 2 dias
- 3 a 5 dias
- Mais de 5 dias

**8. Imaginando que cumpre a função de Cmdt Sec, quais os movimentos que executa mais vezes?**

Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.

- Caminhar
- Correr
- Levantamento de pesos com agachamento
- Levantamento de pesos sem agachamento
- Transporte de material pesado
- Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)
- Outro. Qual?

**9. Imaginando que cumpre a função de S1 (servente apontador), quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

- Caminhar
- Correr
- Levantamento de pesos com agachamento
- Levantamento de pesos sem agachamento
- Transporte de material pesado
- Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)
- Outro. Qual?

**10. Imaginando que cumpre a função de S2 (servente da culatra), quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

- Caminhar
- Correr
- Levantamento de pesos com agachamento
- Levantamento de pesos sem agachamento
- Transporte de material pesado
- Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)
- Outro. Qual?

**11. Imaginando que cumpre a função de S3 (servente carregador), quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

- Caminhar
- Correr
- Levantamento de pesos com agachamento
- Levantamento de pesos sem agachamento
- Transporte de material pesado
- Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)
- Outro. Qual?

**12. Imaginando que cumpre a função de S4 (servente municizador), quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**13. Imaginando que cumpre a função de S5 (servente municizador/auxiliar do Cmdt Sec), quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**14. Imaginando que cumpre a função de Condutor, quais os movimentos que executa mais vezes? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nenhuma vez” e 10 = “sempre”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**15. Imaginando que cumpre a função de Cmdt Sec, quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**16. Imaginando que cumpre a função de S1 (servente apontador), quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**17. Imaginando que cumpre a função de S2 (servente da culatra), quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**18. Imaginando que cumpre a função de S3 (servente carregador), quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**19. Imaginando que cumpre a função de S4 (servente municador), quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**20. Imaginando que cumpre a função de S5 (servente municador/auxiliar do Cmdt Sec), quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

Outro. Qual?

**21. Imaginando que cumpre a função de Condutor, quais os movimentos que lhe custam mais a executar? Numere de 1 a 10, sendo que 1 = “nada” e 10 = “impossível”.**

Caminhar

Correr

Levantamento de pesos com agachamento

Levantamento de pesos sem agachamento

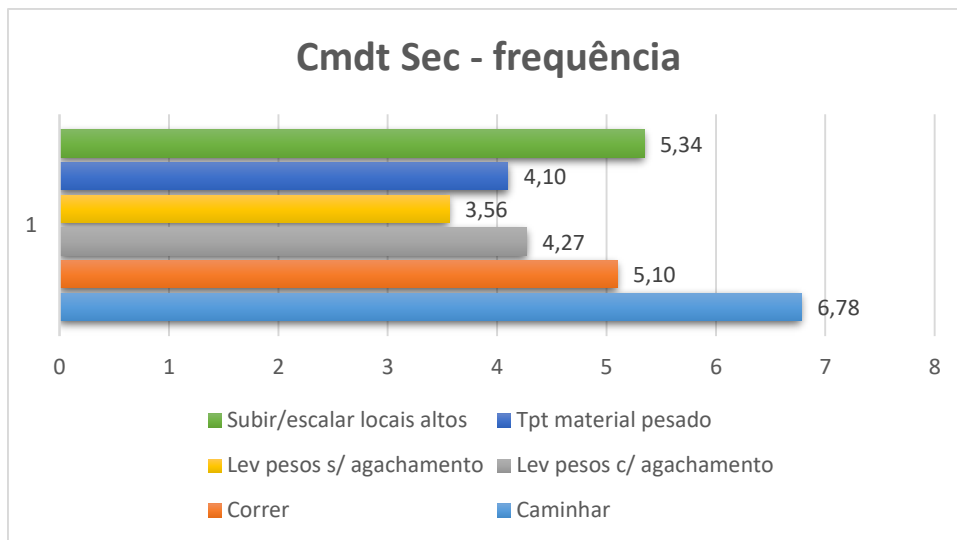
Transporte de material pesado

Subir/escalar a locais altos (ex: viatura)

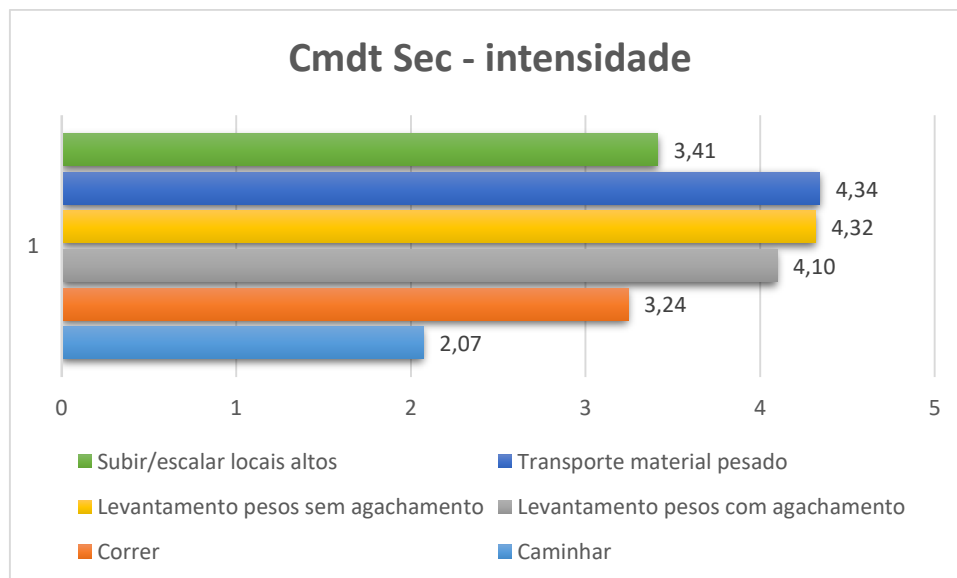
Outro. Qual?

**22. De todas as atividades militares que já desempenhou, quais as que considera mais exigentes fisicamente (excluindo atividades desportivas)? Procure numerar pelo menos 3.**

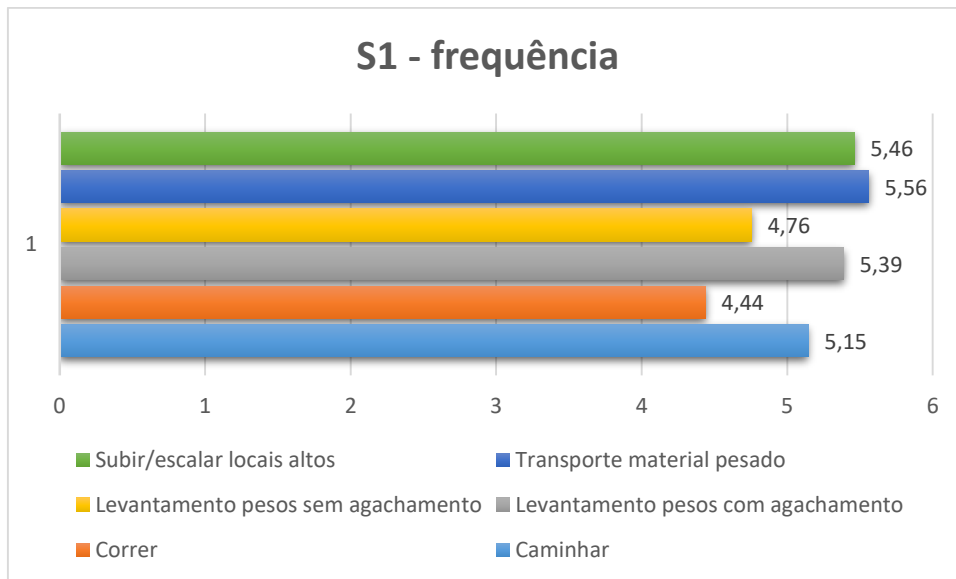
## APÊNDICE D: GRÁFICOS DE PERCEÇÃO DE ESFORÇO DOS INQUÉRITOS POR QUESTIONÁRIO



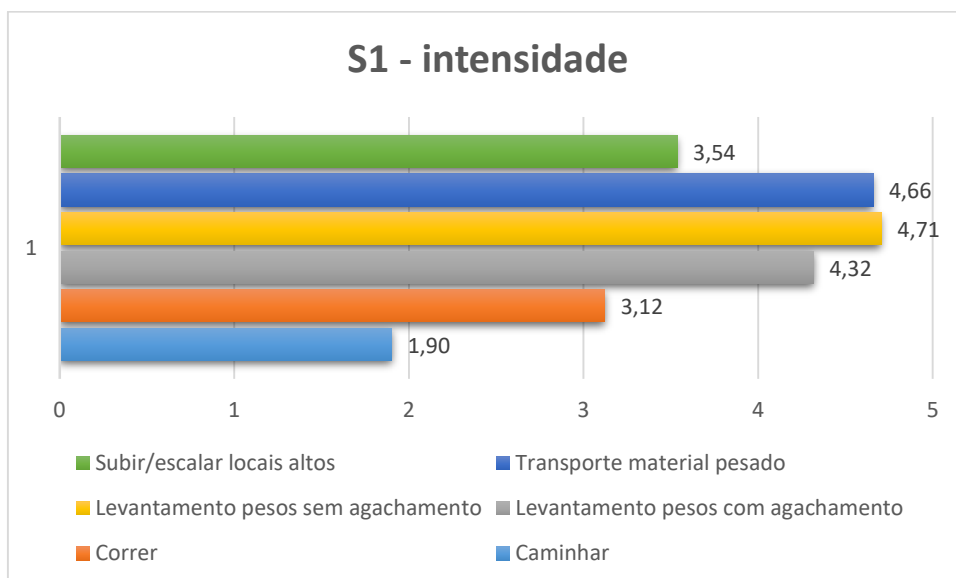
**Figura 26 - IAE: Frequência dos movimentos do Cmdt Sec**



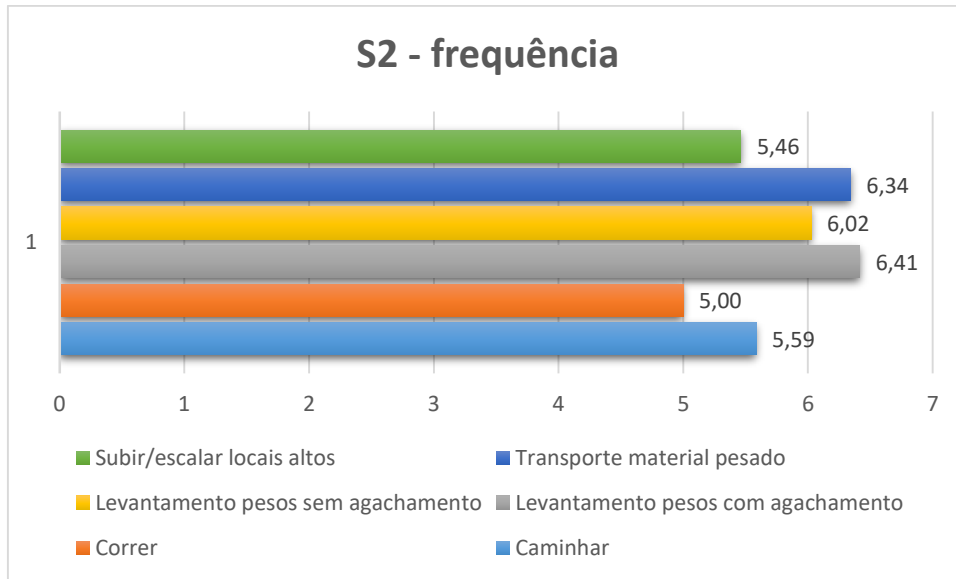
**Figura 27 - IAE: Intensidade dos movimentos do Cmdt Sec**



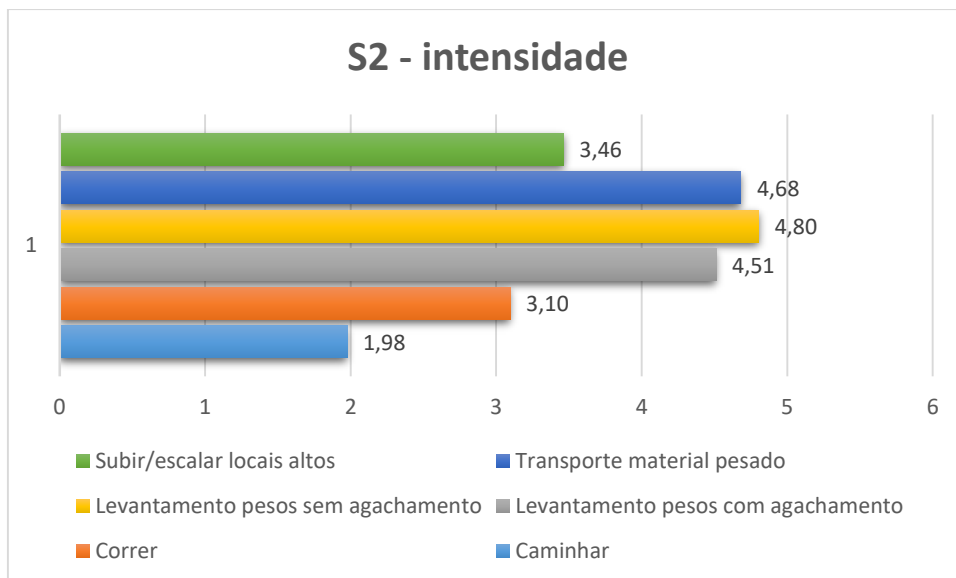
**Figura 28 – IAE: Frequência dos movimentos do S1**



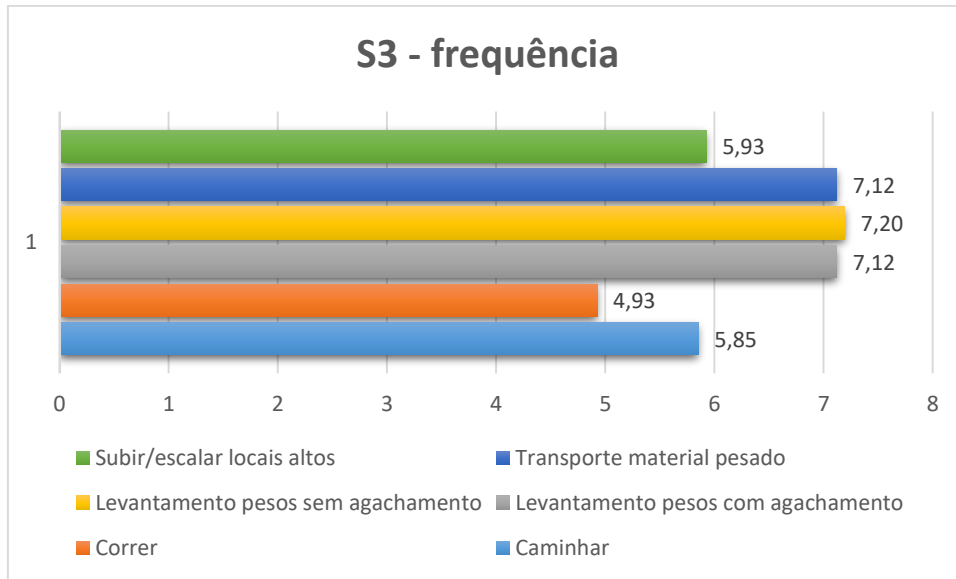
**Figura 29 – IAE: Intensidade dos movimentos do S1**



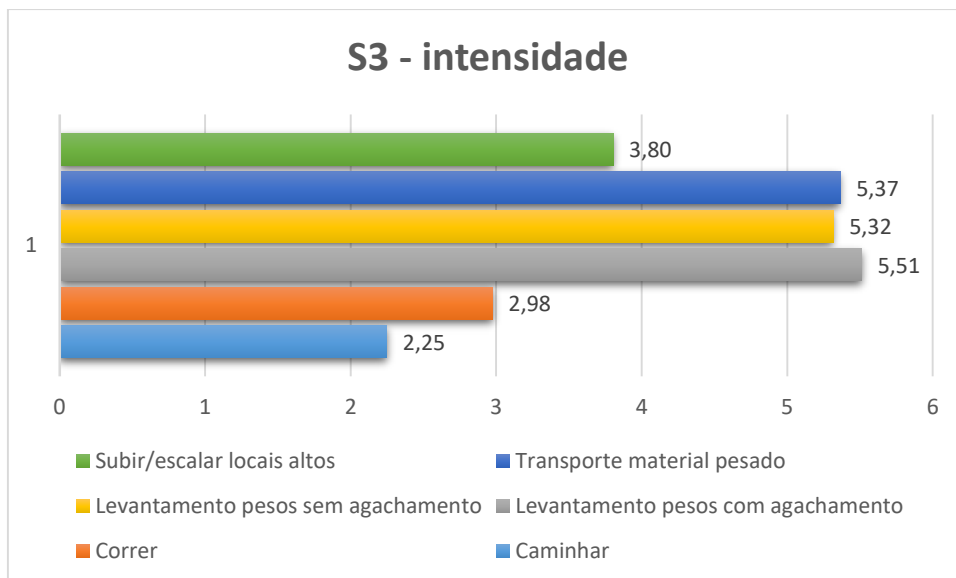
**Figura 30 - IAE: Frequência dos movimentos do S2**



**Figura 31 - IAE: Intensidade dos movimentos do S2**

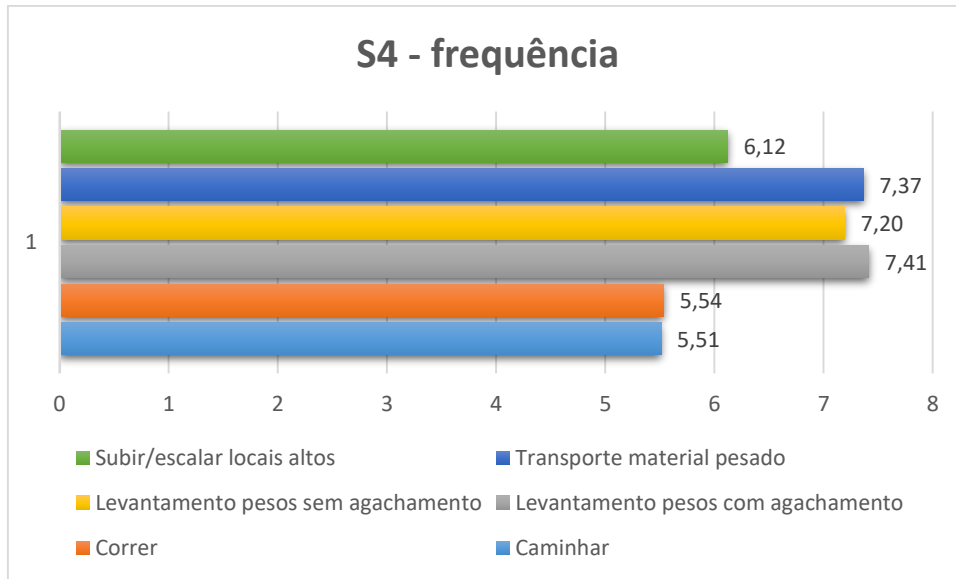


**Figura 32 - IAE: Frequência dos movimentos do S3**

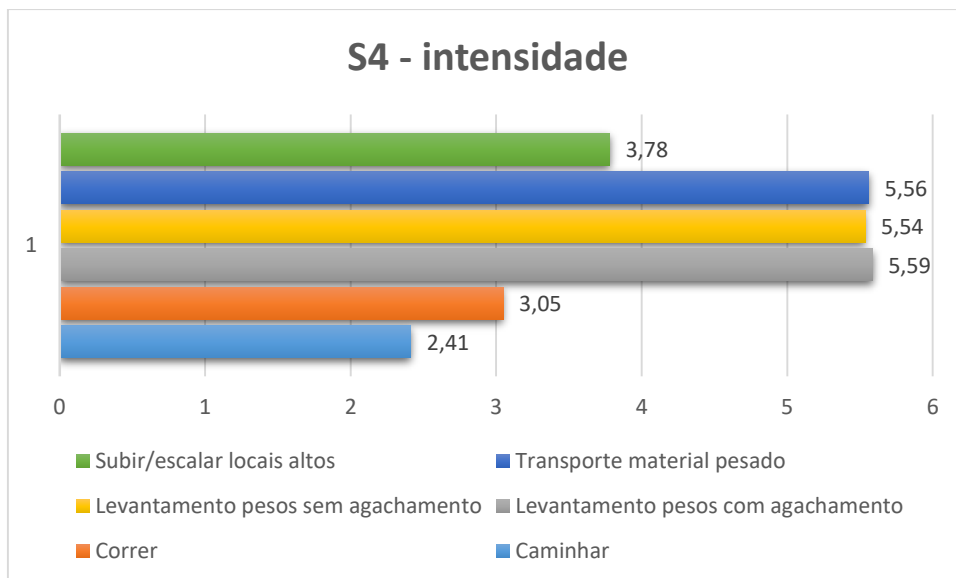


**Figura 33 - IAE: Intensidade dos movimentos do S3**

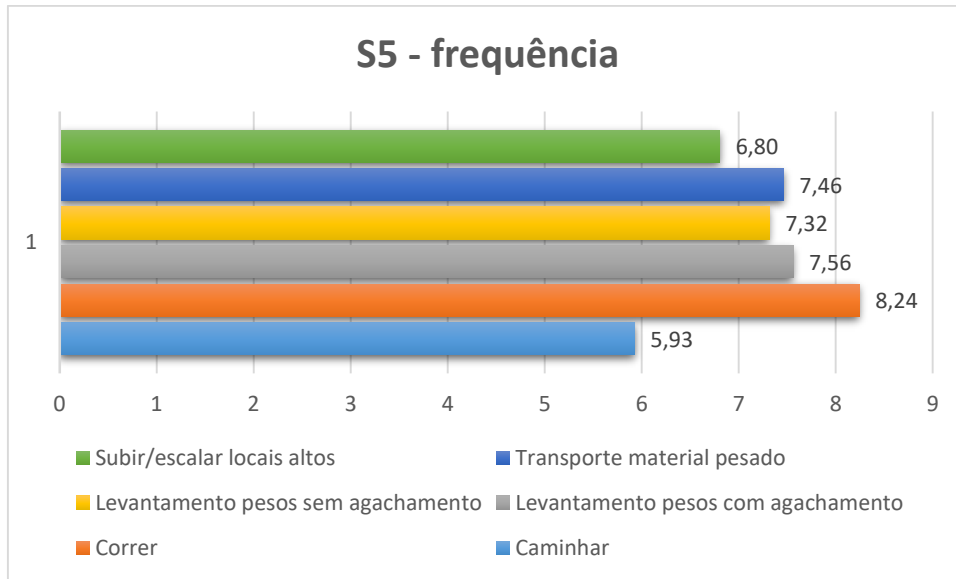




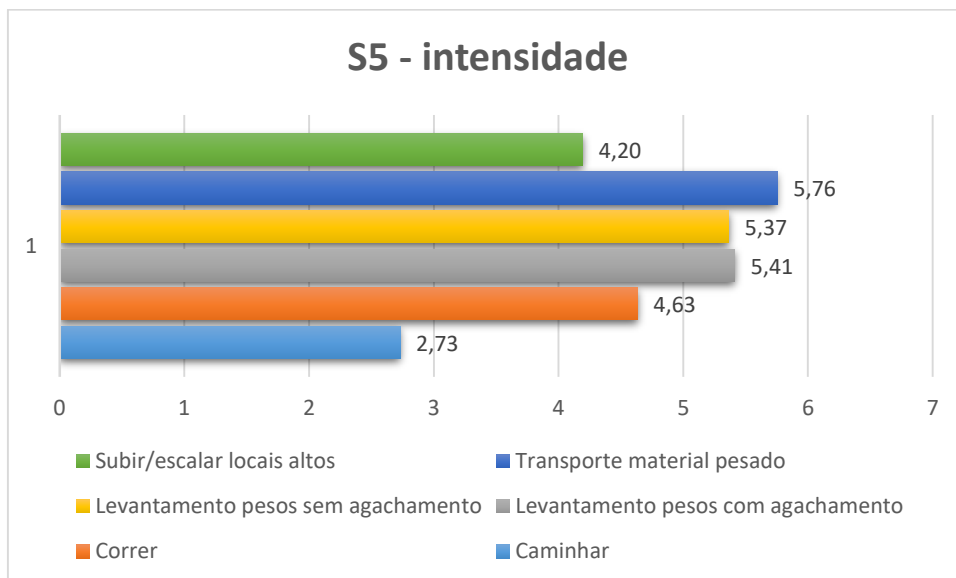
**Figura 34 - IAE: Frequência dos movimentos do S4**



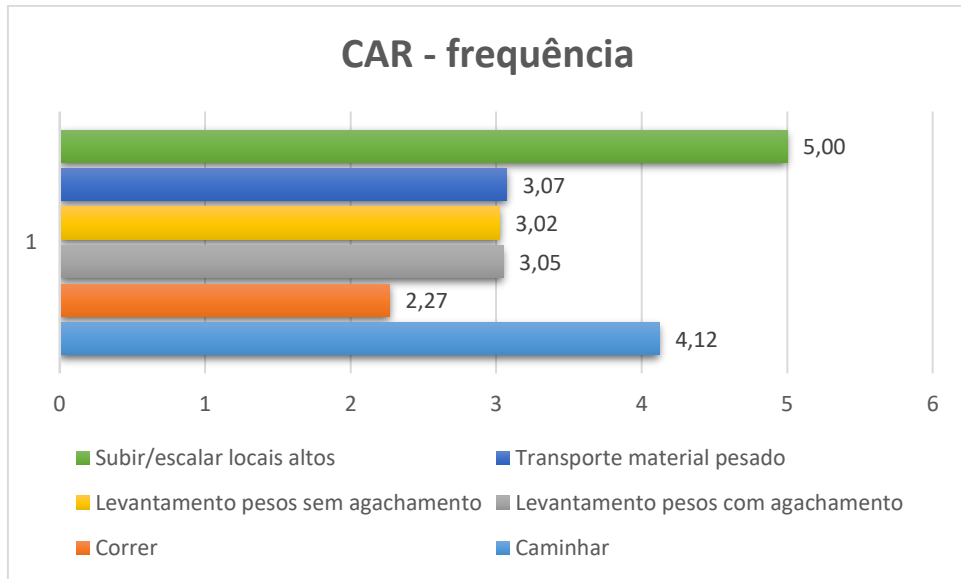
**Figura 35 - IAE: Intensidade dos movimentos do S4**



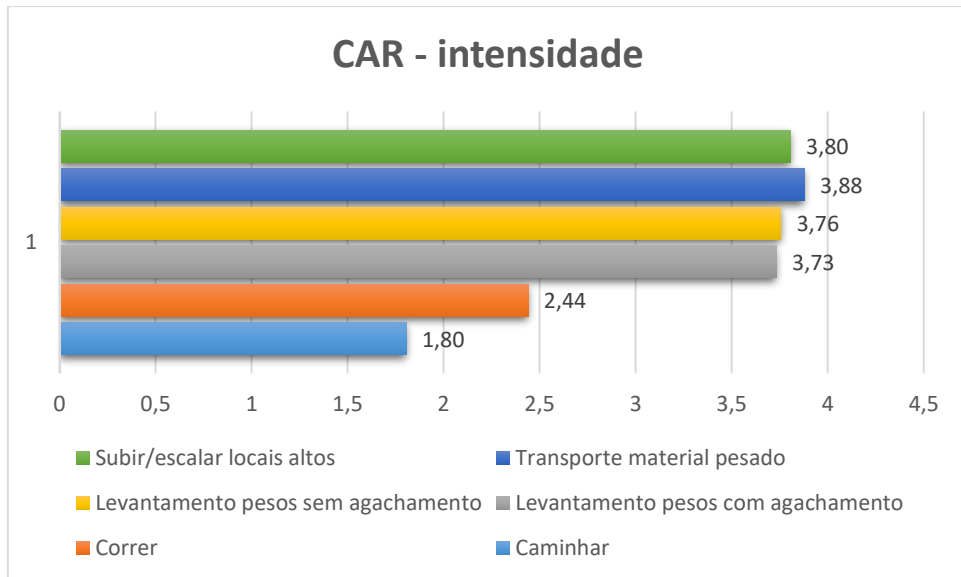
**Figura 36 - IAE: Frequência dos movimentos do S5**



**Figura 37 - IAE: Intensidade dos movimentos do S5**



**Figura 38 - IAE: Frequência dos movimentos do Condutor**



**Figura 39 - IAE: Intensidade dos movimentos do Condutor**

## ANEXO A – RESPONSABILIDADES DO PESSOAL DO DESTACAMENTO DE RECONHECIMENTO

**Tabela 3 - RESPONSABILIDADES DO PESSOAL DO DESTACAMENTO DE RECONHECIMENTO**

	FASE DE RECONHECIMENTO	FASE DE ESCOLHA E OCUPAÇÃO	FASE DE OCUPAÇÃO
Representante do PCT	Colaborar na segurança do Dest. Rec.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Participar na batida à zona de posições.</li> <li>2. Preparar a quadrícula e o M/17.</li> <li>3. Instalar a antena RC-292.</li> <li>4. Reconhecer o itinerário do Ponto de Irradiação para o local do PCT e do COB.</li> <li>5. Verificar se existem transmissões com as bf.</li> <li>6. Calcular as correções de posição.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparar-se para receber missões de tiro.</li> <li>2. Conduzir o PCT e o COB para as respetivas posições.</li> </ol>
Sargento Tiro	Colaborar na segurança do Dest. Rec.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Participar na batida à zona de posições.</li> <li>2. Estacionar e orientar o GB.</li> <li>3. Determinar as direções iniciais para as bf.</li> <li>4. Verificar a instalação do COB.</li> <li>5. Determinar as distâncias entre as bf e o GB.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apontar as bocas de fogo.</li> <li>2. Iniciar a elaboração do Relatório do Comandante da Bateria de Tiro.</li> </ol>
Representante das Transmissões	Colaborar na segurança do Dest. Rec.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Participar na batida à zona de posições.</li> <li>2. Assegurar ligações telefónicas para o GB, COB e posições das bf.</li> <li>3. Completar o plano de ligação interna e externa.</li> <li>4. Instalar a Central telefónica.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Supervisionar a instalação das transmissões.</li> <li>2. Preparar-se para instalar as ligações telefónicas com o GAC.</li> </ol>
Guias das bocas de fogo	Colaborar na segurança do Dest. Rec.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Participam na batida à zona de posições.</li> <li>2. Preparam a posição das bf.</li> <li>3. Reconhecem o itinerário desde o ponto de reunião até à posição das b.f.</li> <li>4. Ligam o fio telefónico das posições das bf à regue de terminais.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Conduzir a respetiva secção desde o ponto de reunião até à posição de tiro.</li> <li>2. Alinhar a bf segundo o rumo de vigilância, transmitindo a direção inicial ao Cmdt ou apontador.</li> </ol>

Comandante da Bateria	<p>1.Reconhecer pela carta. Escolher os itinerários principais e secundários e pontos de controlo. Dar ordem de deslocamento à Bateria.</p> <p>2. Informar o Dest. Rec. E o Cmdt da Btr Tiro falando sobre os 5 parágrafos da Ordem de Operações.</p> <p>3.Executar o reconhecimento terrestre (também aéreo se o tempo permitir).</p> <p>4.Verificar a camuflagem, cobertura, obstáculos, locais de emboscada, tempo de deslocamento, distância e locais possíveis para ocupação de emergência.</p> <p>5.Supervisar a segurança dos Dest. Rec.</p>	<p>1. Selecionar a posição principal e identificar os itinerários de entrada e saída.</p> <p>2. Materializar o rumo de vigilância.</p> <p>3. Reconhecer a zona de posições.</p> <p>4. Executar o plano de ocupação.</p> <p>5. Indicar a localização das bf, PCT e COB.</p> <p>6. Supervisar a preparação da Posição.</p> <p>7. Reconhecer as posições suplementar e de alternativa.</p> <p>8. Planear o levantamento topográfico.</p>	Supervisar e dirigir a ocupação da posição.
Adjunto do Comando	<p>1.Reunir o Destacamento de Reconhecimento.</p> <p>2.Acompanhar o Comandante de Bateria no reconhecimento.</p> <p>3.Participar na segurança do Dest. Rec.</p>	<p>1. Organizar uma batida na zona de posições.</p> <p>2. Desenvolver o plano de trilhos.</p> <p>3. Planear a defesa da posição.</p> <p>4. Organizar a área de dispersão de viaturas.</p> <p>5. Seccionar as posições das viaturas na área de serviços.</p> <p>6. Informar os guias sobre o plano de ocupação.</p>	<p>1. Dirigir a melhoria da segurança e defesa da Bateria.</p> <p>2. Supervisionar o movimento das viaturas na área de serviços.</p>
Condutor do Comandante de Bateria	<p>1.Acompanhar o Comandante de Bateria no reconhecimento.</p> <p>2.Verificar a contaminação NBQ na área.</p> <p>3.Cooperar na segurança do Dest, Rec.</p>	<p>1. Participar na batida à zona de posições.</p> <p>2. Auxiliar o Comandante da Bateria.</p> <p>3. Participar na montagem da antena RC-292 no COB.</p> <p>4. Operar com o equipamento NBQ.</p>	<p>1. Guiar a Bateria a partir do Ponto de Irradiação, se necessário.</p> <p>2. Guiar as viaturas do apoio de serviços para os seus locais na zona de posições.</p>

Fonte: Adaptado de MC 20\_15, 3-7

# ANEXO B – QUESTIONÁRIO DE PERCEÇÃO DE FUNCIONAMENTO

## Questionário de percepção de funcionamento

Este questionário insere-se no estudo *Desenvolvimento do Conceito de Exosqueleto para Aplicação em Ambiente Operacional* e pretende avaliar a percepção do utilizador durante a utilização da ajuda técnica em estudo.

**Ao preencher o questionário tenha por favor em atenção que:**

1. A maioria das questões foi concebida de modo a ser respondida através de uma escala que representa a opinião que tem sobre o assunto objeto de estudo. Apresentam-se em escala, em que o valor menor representa a opinião menos concordante, e o valor mais elevado a mais concordante, em relação à afirmação. Assinale a resposta com um (X).
2. Não existem respostas corretas nem incorretas. Apenas se pretende obter a sua opinião.
3. As suas respostas são estritamente confidenciais e anónimas.
4. Se alguma questão for difícil de responder, responda o melhor que puder sem, entretanto, deixar de responder às questões.
5. Em caso de dúvida não hesite em questionar um dos investigadores presentes.

**Entidades Promotoras:** Instituto Superior Técnico (IST) e Academia Militar.

**Investigadores Responsáveis pelo Estudo:** Rafael João da Rocha Ferreira (Academia Militar, Luís Filipe Pratas Quinto (Academia Militar, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa); Miguel Tavares da Silva (LAETA, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa)

**A preencher pelo investigador responsável:**

<b>ID:</b>		<b>1º Ensaio</b>	<b>2º Ensaio</b>	<b>3º Ensaio</b>
<b>Data:</b>				

**A preencher pelo voluntário:**

1. Achou o tempo de aprendizagem/adaptação suficiente:

Sim	Não

- a. Se respondeu não, indique o tempo que acharia suficiente para se adaptar ao peso e mobilidade do exoesqueleto: \_\_\_\_\_

2. Classifique o nível de esforço percecionado no 1º ensaio com mola:

1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

- a. Sentiu que a mola utilizada o auxiliou no movimento do pé durante a marcha.

0-Prejudica	1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

3. Classifique o nível de esforço percecionado no 2º ensaio com mola.

1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

- a. Sentiu que a mola utilizada o auxiliou no movimento do pé durante a marcha.

0-Prejudica	1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

4. Classifique o nível de esforço percebido no 3º ensaio com mola.

1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

- b. Sentiu que a mola utilizada o auxiliou no movimento do pé durante a marcha.

0-Prejudica	1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

5. Ordene os ensaios por ordem crescente de ação/apoio da mola:

--	--	--

6. Classifique a estrutura quanto à mobilidade da articulação (e.g. liberdade de movimento do pé):

1-Nenhum	2-Pouco	3-Moderado	4-Muito

O que sentiu? (e.g. Movimentos afetados) \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

7. Classifique a estrutura quanto ao conforto:

1-Muito Desconfortável (e.g. dor)	2-Desconfortável	3-Neutro	4-Confortável

O que sentiu? \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

8. Indique possíveis alterações para melhorar o exoesqueleto:

\_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

9. Consideraria utilizar este dispositivo no dia-a-dia, nomeadamente durante atividades que envolvessem caminhar durante longos períodos de tempo (e.g. deslocamento apeado, transporte de cargas em ambiente fechado, etc)?

\_\_\_\_\_

Fonte: Pinheiro, 2018.