



UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL

PAULO PIRES JÚNIOR, CAP QOMED CLM

ANALISE DO SINAL DE ELETROMIOGRAFIA DURANTE MANOBRA ANTI-G

Rio de Janeiro

Julho de 2024

UNIVERSIDADE DA FORÇA AÉREA
PRÓ-REITORIA DE ENSINO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESEMPENHO HUMANO OPERACIONAL

PAULO PIRES JÚNIOR, CAP QOMED CLM

ANALISE DO SINAL DE ELETROMIOGRAFIA DURANTE MANOBRA ANTI-G

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano Operacional da Universidade da Força Aérea como requisito para obtenção do Título de Mestre em Desempenho Humano Operacional.

Orientador: Prof. Dr. André Brand Bezerra Coutinho.

Coorientador: Prof. Dr. Adriano Percival Calderaro Calvo.

Rio de Janeiro

Julho de 2024

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNIFA

Pires Junior, Paulo

P667a Análise do sinal de eletromiografia durante manobra anti-g /
Paulo Pires Junior – Rio de Janeiro: Universidade da Força
Aérea, 2024.
82 f.: il., enc.

Orientador: Prof. Dr. André Brand Bezerra Coutinho
Dissertação (mestrado) – Universidade da Força Aérea, Rio
de Janeiro, 2024.

Referências: f. 50-54

1. AGSM. 2. EMG. 3. +Gz. 4. Centrifuga Humana. I.
Título. II. Brand, André. III. Universidade da Força Aérea.

CDU: 612.743

Folha de aprovação

PAULO PIRES JUNIOR, Capitão Médico

ANÁLISE DO SINAL DE ELETROMIOGRAFIA DURANTE MANOBRA ANTI-G

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano
Operacional da Universidade da Força Aérea.

Aprovado por:



Presidente, Professor Doutor André Brand Bezerra Coutinho – Universidade da Força Aérea



Professor Doutor Rainer Augusto Marson – Instituto de Pesquisa da Capacitação Física do Exército



Professor Doutor Bruno Ferreira Viana – Universidade da Força Aérea

Rio de Janeiro

Julho de 2024

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de iniciar os meus agradecimentos, dedicando as palavras iniciais à Deus, cuja presença iluminou cada passo da minha jornada, eu expresso minha mais profunda gratidão. Sua inspiração, orientação e força foram pilares fundamentais que me sustentaram e motivaram a superar minhas limitações, assim como os desafios e adversidades encontrados ao longo do caminho.

A minha família, que me apoiou incondicionalmente mesmo com os sacrifícios impostos pelos desafios enfrentados, incluindo a renúncia a finais de semana e eventos familiares, meu sincero agradecimento. Reconheço que, em diversos momentos, precisei delegar responsabilidades para me dedicar aos estudos, e por isso sou especialmente grato. Seu amor, compreensão e encorajamento foram cruciais para que eu pudesse seguir em frente com determinação e foco, mesmo quando a jornada parecia árdua.

Aos meus chefes e superiores, agradeço pelo incentivo e apoio contínuos. Suas palavras de estímulo e confiança foram vitais para manter minha motivação e empenho.

Aos professores do programa, e especialmente aos meus orientadores, Professor André Brand e Professor Adriano Percival, expresso minha sincera gratidão pelos conhecimentos e orientações perspicazes, além do suporte inestimável. Seus conselhos e expertise foram fundamentais para a conclusão bem-sucedida deste projeto.

Aos colegas do IMAE, expresso minha profunda gratidão pelo apoio recebido durante o período do mestrado. O esforço extra de vocês para me isentar de viagens e outras responsabilidades permitiu que eu me dedicasse integralmente à elaboração do meu trabalho. Agradeço também pela ajuda essencial durante a coleta de dados.

Por fim, ao concluir o mestrado stricto sensu do Programa de Pós-Graduação em Desempenho Humano Operacional (PPGDHO) da Universidade da Força Aérea em 2024, sinto-me imensamente grato a todos que contribuíram para a realização deste sonho. Cada apoio, cada gesto de colaboração, foi um tijolo na construção desta conquista.

Muito obrigado a todos.

Paulo Pires Júnior

RESUMO

Introdução: As forças +Gz podem provocar sobrecargas fisiológicas, causando desde alterações visuais até perda de consciência, representando um risco para o desempenho e segurança dos pilotos. Para contrapor esses efeitos, a execução eficaz da AGSM é fundamental. A AGSM é uma manobra corporal que combina a contração isométrica de grupamentos musculares de membros inferiores, glúteos e tronco, associada à uma respiração específica. Sendo o componente muscular de suma importância e ao mesmo tempo difícil de ser avaliado subjetivamente. Neste contexto a técnica de eletromiografia (EMG) de superfície apresenta potencial para atuar como ferramenta de avaliação das contrações musculares durante a AGSM.

Objetivo: O presente estudo tem como objetivo testar a técnica de EMG para avaliação qualitativa da atividade muscular de grupamentos empregados na AGSM, além de avaliar o possível impacto do *biofeedback* para melhoria da execução da manobra. Adicionalmente, buscamos identificar a aceitação do protocolo sugerido.

Métodos: O Trabalho experimental, foi realizado em cadetes, sem experiência com a AGSM. Os sinais de EMG dos músculos oblíquo abdominal, vasto lateral, bíceps femoral e gastrocnêmio medial foram adquiridos durante a realização de duas sessões de 30s de AGSM, com três minutos de intervalo entre sessões, seguindo os protocolos prévios. Os voluntários foram divididos em grupo controle (sem *biofeedback* de EMG) e grupo intervenção (com *biofeedback* de EMG). Os dados brutos foram processados (*Butterworth*, 4ª ordem, passa-banda [20-350 Hz] e rejeita-banda [60 Hz + 4 harmônicos]), posteriormente foi calculado o valor RMS para uma época de 0,5s com passo de 0,1s. Os valores de área sob a curva RMS foram calculados e comparados entre os grupos controle x intervenção por meio dos testes de Mann Whitney e Wilcoxon.

Resultados: Os resultados demonstram que a técnica de EMG oferece informações úteis para avaliar a qualidade da AGSM. A maior variação da ΔAUC entre a primeira e segunda tentativa no grupo intervenção, correspondendo a um maior engajamento muscular, corrobora o impacto positivo provocado pelo *biofeedback*. O NPS aplicado indica a boa aceitação da proposta por parte dos voluntários.

Conclusão: A técnica de EMG se mostrou útil para avaliação da qualidade da ativação dos músculos estudados durante a AGSM e o *biofeedback* contribui para melhorar a execução da manobra, podendo representar incremento na tolerância dos pilotos à aceleração +Gz. Sendo assim, os resultados desta pesquisa, justificam a adoção do protocolo de treinamentos de AGSM com emprego da EMG nos EAF oferecidos pelo IMAE.

Palavras-chave: AGSM; EMG; +Gz; Centrifuga Humana.

ABSTRACT

Introduction: The +Gz forces can compromise circulatory physiology, causing since visual changes to loss of consciousness, representing a risk to pilot's performance and safety. To avoid these effects, effective execution of AGSM is essential, therefore, the isometric contraction of muscle groups in the lower limbs is extremely important, at the same time difficult to evaluate subjectively. The electromyography (EMG) technique has potential to be used as tool for muscle contraction assessment during AGSM. **Objective:** The present study aims to test the EMG technique for qualitative evaluation of muscle activity during AGSM, as well as evaluating the *biofeedback* impact to the maneuver execution. In addition, we sought to identify the acceptance of the suggested protocol. **Methods:** Experimental study was performed on Brazilian cadets without previous AGSM experience. The abdominal oblique, vastus lateralis, biceps femoris and medial gastrocnemius EMG signals were acquired during two sessions of 30s of AGSM, with three minutes rest between them, following previous protocols. The volunteers were divided in two groups: control (without biofeedback) and intervention (with biofeedback). The raw data was processed (Butterworth, 4th order, band-pass [20-350 Hz] and stopband [60 Hz + 4 harmonics]), subsequently the RMS value was calculated for 0.5s epoch with steps of 0.1s. The RMS Under Curve Area (AUC) values were calculated and compared between the control x intervention groups using Mann Whitney and Wilcoxon tests. **Results:** The EMG technique offers useful information to assess the quality of the AGSM, also, there was higher variation of the Δ AUC between the first and second attempts in the intervention group, corresponding to a greater muscle engagement, corroborates the positive impact caused by biofeedback. The applied NPS indicates the good acceptance of the proposal by the volunteers. **Conclusion:** The EMG technique proved to be useful for evaluating the studied muscles activation quality during the AGSM, and the biofeedback contributes to improve AGSM execution, which may represent tolerance increase in +Gz acceleration. Thus, the results of this research justify the adoption of the AGSM training protocol, using EMG, in the IMAE's EAF.

Keywords: AGSM; EMG; +Gz; Human Centrifuge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Eixo das acelerações	16
Figura 2 – Trajetória da aeronave e repercussão fisiológica de um ataque ao solo.	17
Figura 3 – Sintomas de acordo com as características da +GZ.....	17
Figura 4 - Resposta fisiológica a redução da pressão arterial causada pela aceleração +Gz. .	19
Figura 5 – Variação da pressão ocular durante 45s de AGSM.....	21
Figura 6 – Exemplo de posicionamento de eletrodos na superfície da pele.	23
Figura 7 – Exemplo de aquisição de sinal através de eletrodo bipolar utilizando rede sem fio.	24
Figura 8 – Exemplo de aquisição de sinal através de eletrodo bipolar utilizando rede com fio.	25
Figura 9 – Diagrama de blocos do sistema de aquisição de EMG	25
Figura 10 - Unidade motora	26
Figura 11 – Somatório de unidades motoras gerando um sinal de EMG.	27
Figura 12 – Traçado dos parâmetros no domínio do tempo. Sinal Bruto de EMG (em preto), curva RMS (vermelho) para um janelamento de 0.1s e curva ARV (azul) para um janelamento de 0.1s.	28
Figura 13 – Sistema de <i>Biofeedback</i> de EMG.....	30
Figura 14 – Piloto da FAB testando estratégias de ativação muscular com auxílio do feedback em tempo real.	32
Figura 15 – Visualização do ventre dos músculos de interesse.....	34
Figura 16 – Preparação da pele para fixação de eletrodos.	35
Figura 17 – Exemplo onde a contração do gastrocnêmio medial foi o primeiro músculo a ativar. Gráfico da esquerda indica o momento de início da contração do gastrocnêmio medial e o gráfico da direita mostra o trecho de 30s dos sinais brutos dos quatro músculos que foram destacados para serem processados.	37
Figura 18 – Curvas RMS dos quatro grupamentos musculares durante os 30 segundos da manobra.....	38
Figura 19 – Curvas nRMS dos quatro grupamentos musculares durante os 30s de AGSM, com a divisão em duas metades: a primeira em azul e a metade final em vermelho.	39
Figura 20 – Boxplot da variação da <i>AUC</i> (ΔAUC) de cada músculo dos grupos Controle e Intervenção.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Grupos para comparação estatística.....	40
Tabela 2 – Descrição da aplicação dos testes estatísticos.	40
Tabela 3 – Medianas de Δ AUC de cada músculo, nos dois grupos, e o p-valor do teste estatístico.....	42
Tabela 4 - Medianas de AUC de cada músculo, nos dois trechos, e o p-valor do teste estatístico, para o grupo controle.	43
Tabela 5 – Medianas de AUC de cada músculo, nos dois trechos, e o p-valor do teste estatístico, para o grupo intervenção.	43

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGSM – Anti G Straining Maneuver

EMG – Eletromiografia

Hz – Hertz

RMS – Root Mean Square

AUC – Area Under Curve

LBDN – Livro Branco de Defesa Nacional

EAF – Estágio de Adaptação Fisiológico

G-LOC – G induced lost of consciousness

FAB – Força Aérea Brasileira

A-LOC – Acceleration-Induced Near-Loss of Consciousness

CH – Centrifugas Humanas

PA – Pressão Arterial

sEMG – Eletromiografia de superfície

IAV – Integrate Absolute Value

WL – Wave Length

UM – Unidades Motoras

RMS – Root Mean Squared

ARV – Average Rectified Value

PS – Potência Espectral (Power Spectrum)

PSD – Densidade da Potência Espectral (Power Spectrum Density)

MNF – Frequência Média (Mean Frequency)

MDF – Frequência Mediana (Median Frequency)

USAF – United States Air Force

ICA – Instrução do Comando da Aeronautica

AFA – Academia da Força Aérea

IMAE – Instituto de Medicina Aeroespacial

FIME – Ficha de Informação Médica

NPS – Net Promoter Score

ECG – Eletrocardiograma

Ag/AgCl – Prata/Cloreto de Prata

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo Geral	15
2.2	Objetivos Específicos.....	15
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1	Acelerações na aviação	16
3.2	Fisiologia.....	18
3.3	Anti G Straining Maneuver (AGSM)	20
3.4	Eletromiografia.....	22
3.4.1	EMG e AGSM.....	23
3.4.2	Aquisição do sinal de EMG.....	24
3.4.3	Interpretação do sinal.....	26
3.4.4	Parâmetros da EMG.....	27
3.5	<i>Feedback</i>	29
3.5.1	Biofeedback em tempo real.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1	Amostra	33
4.1.1	Critérios de Inclusão	33
4.1.2	Critérios de Exclusão	33
4.2	Instrumentação.....	33
4.2.1	Posicionamento dos eletrodos	34
4.3	Protocolo experimental	35
4.4	Análise e Processamento de dados	37
4.4.1	Sinal de EMG	37
4.4.2	Dados NPS	39
4.5	Análise estatística	39
5	RESULTADOS	41
6	DISCUSSÃO.....	45
6.1	Feedbacks de EMG.....	45
6.2	Qualidade da AGSM no decorrer do tempo.....	46
6.3	NPS	47
6.4	Produtos.....	47
7	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS	50
	ANEXO I – Protocolo de treinamento prático de AGSM.....	555
	ANEXO II – Localização dos ventres, preparação da superfície cutânea e posicionamento de eletrodos.	588
	ANEXO III – Material didático para o curso de AGSM: Revisão narrativa	644
	ANEXO IV - Minuta de alteração da ICA.....	76
	ANEXO V – Figuras complementares.....	8080

1 INTRODUÇÃO

A Defesa nacional, conforme descrito no Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN), pode ser definida como “o conjunto de medidas e ações do Estado, com ênfase na expressão militar, para a defesa do território, da soberania e dos interesses nacionais contra ameaças preponderantemente externas, potenciais ou manifestas” (Brasil, 2012). Para tanto, a área de Ciência, Tecnologia e Inovação é um dos segmentos decisivos para fortalecer a capacidade militar da Força Aérea e ainda alavancar o país em áreas do conhecimento valiosos para o seu desenvolvimento (Brasil, 2020), onde o Poder Aéreo, pode ser considerado o instrumento mais importante da coerção militar moderna (PAPE, 1996).

O Brasil como potência regional é obrigado a manter uma força militar que faça jus ao seu status, por isso a modernização da indústria de defesa nacional ocupa papel estratégico na política de defesa do país (Brasil, 2020). Dessa forma vetores aéreos cada vez mais valiosos, sofisticados e poderosos são desenvolvidos e incorporados às nossas forças de defesa (FAB, 2022), como o KC390 e o F39 (Gripen), sendo esse último fruto do projeto FX-2 que visa modernizar a frota de aeronaves de alta performance brasileira.

Por outro lado, considerando que somos seres essencialmente terrestres e que ao voar nos expomos a diversos fatores estressores para os quais não conseguimos nos adaptar integralmente, como às acelerações (força G), deduzimos que quanto mais rápidos forem os vetores, maiores serão as demandas fisiológicas dos pilotos, nos levando a conclusão que as limitações fisiológicas do corpo humano são um importante fator restritivo à atividade aérea (FAA, 2022), e por isso precisamos lançar mão de recursos, como suplementação de oxigênio, pressurização de cabine, emprego de trajes anti-G, sistemas de respiração com pressão positiva além de propor a realização de treinamentos e Estágios de Adaptação Fisiológicos (EAF) para entendermos as nossas limitações e conseqüentemente elevarmos o desempenho humano operacional, melhorando a eficiência e segurança de voo.

Na Força Aérea Brasileira, se propõe a realização do EAF para os cadetes durante a sua formação e posteriormente em intervalos de 5 anos. Visando contemplar as especificidades de cada tipo de aviação, dispomos de perfis customizados, sendo eles: Caça, Transporte, Helicóptero e Paraquedismo, sendo que em comum, todos eles contêm instruções teóricas e oficinas sobre hipoxia, inclusive com voo simulado em câmara hipobárica, visão noturna e desorientação espacial (BRASIL, 2017).

Especificamente no perfil “Caça” são acrescentadas atividades voltadas para prevenção dos efeitos nocivos relacionados às acelerações transitórias e sustentadas, respectivamente com simulação de ejeção em torre e apresentação da manobra Anti G ou Anti G Straining Maneuver (AGSM).

As acelerações sustentadas, principalmente quando aplicadas no sentido +Gz, provocam o acúmulo de sangue nos membros inferiores, causando redução do aporte de sangue no cérebro e olhos (HABAZETTL, 2016), ocasionando alterações visuais e até mesmo a perda total de consciência, também conhecido como G-LOC (*G – Lost of Consciousness*) (ALVIM, 1995), configurando cenário de alto risco para acidentes graves.

A fim de mitigar os riscos mencionados acima, foi desenvolvida a AGSM, que utiliza contração muscular dos membros inferiores e abdome, combinada com fechamento voluntário da glote (manobra de Valsalva) e manobras cíclicas de respiração (SLUNGAARD, 2019), a associação desses componentes busca o incremento no aporte de sangue/oxigênio para os olhos e sistema nervoso central (DAVIS, 2012). Estima-se que quando realizada corretamente a AGSM pode acrescentar mais de 3G de tolerância contra a força +Gz (SAH, 2018), podendo representar a diferença entre o cumprimento da missão, sobrevivência do piloto ou a ocorrência de acidentes com repercussões inimagináveis, evitando grande perda material e de vidas, além do impacto psicológico na tropa.

A tolerância dos pilotos à +Gz normalmente é avaliada em Centrifuga Humana (KUMAR, 2019), porém, sabendo da importância da ação muscular na AGSM e ainda, que essa pode ser mensurada através da Eletromiografia (EMG), consideramos o emprego da EMG no treinamento da AGSM de pilotos da FAB para uma avaliação mais objetiva do componente muscular da AGSM. Desta forma é possível promover ajustes de execução através de *biofeedback*, culminando em maior proficiência dos pilotos, conseqüentemente, melhorando a tolerância às acelerações a fim de proporcionar um melhor aproveitamento dos pilotos da FAB nas qualificações em centrifuga. Ainda, em última instância, pode-se elevar a capacidade operacional e a segurança de voo da Força Aérea Brasileira.

Isto posto, o objetivo deste projeto foi avaliar por meio da técnica de eletromiografia a qualidade do componente muscular da AGSM realizada por cadetes da FAB e ainda, comprovar que utilização da eletromiografia pode ser uma ferramenta fundamental para o treinamento da AGSM, principalmente na ausência de disponibilidade de uma centrífuga humana. Para tal, este estudo buscou analisar o sinal captado dos músculos oblíquo abdominal, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Gastrocnêmio medial.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar por meio da EMG o componente muscular da AGSM.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

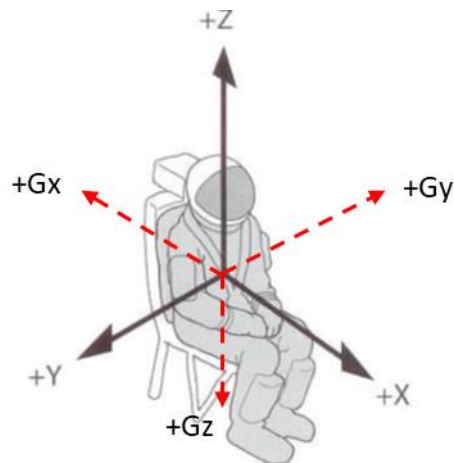
- Testar a técnica de EMG para avaliação qualitativa da atividade muscular na AGSM;
- Avaliar o possível impacto do *biofeedback* na execução da manobra;
- Identificar a aceitação do protocolo sugerido; e
- Propor melhorias dos treinamentos oferecidos aos cadetes e pilotos de caça da FAB baseado em evidência científica.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ACELERAÇÕES NA AVIAÇÃO

Os pilotos podem ser submetidos a acelerações transitórias (grande magnitude e curta duração) ou sustentadas (baixa magnitude e longa duração), nas direções identificadas de acordo com os eixos do nosso corpo X, Y e Z, conforme ilustrado na Figura 1. Podem ainda ser positivas (+) ou negativas (-) de acordo com o sentido, sendo assim possível identificarmos as seguintes variações: +Gz, -Gz, +Gx, -Gx, +Gy e -Gy (DAVIS, 2012).

Figura 1 – Eixo das acelerações



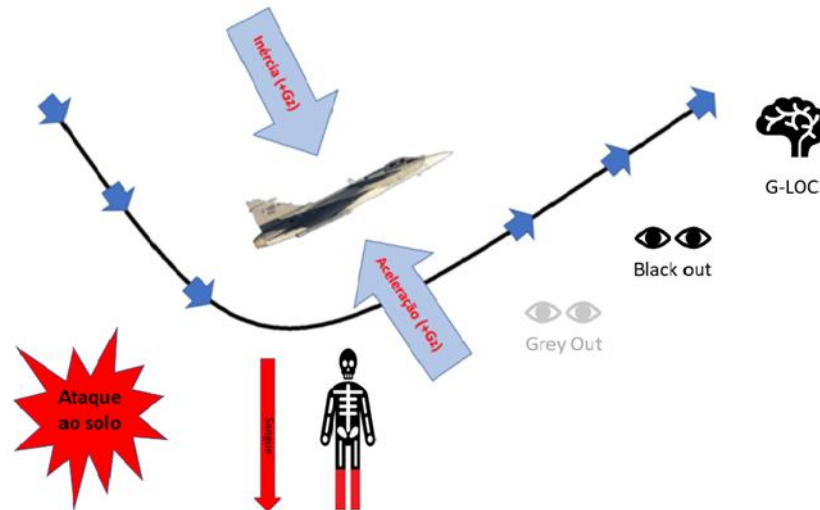
Fonte: adaptado de DAVIS *et al.* (2012).

Em determinadas manobras, como ataque ao solo, curvas em alta velocidade ou em loopings, ocorre aceleração no eixo Z, no sentido de baixo para cima (+Gz), e dela origina-se uma força de reação igual e oposta (força inercial). Sendo o sangue um fluido, e por ação da inercia, ele tende a escoar para os membros inferiores, diminuindo o retorno venoso, o débito cardíaco e a pressão de perfusão dos tecidos localizados acima do coração, comprometendo o aporte de oxigênio para a retina e cérebro (TEMPORAL, 2005), conforme demonstrado na Figura 2.

Os sintomas da +Gz, vão de perda parcial de visão (*Grey out*), perda total da visão (*Black out*) ou até perda da consciência (*G induced lost of consciousness ou G-LOC*). Esta perda de consciência é uma condição de grande perigo, pois mesmo após a interrupção da manobra, o

piloto pode demorar alguns instantes para recuperar sua capacidade cognitiva plena (DAVID & DAVID, 2006).

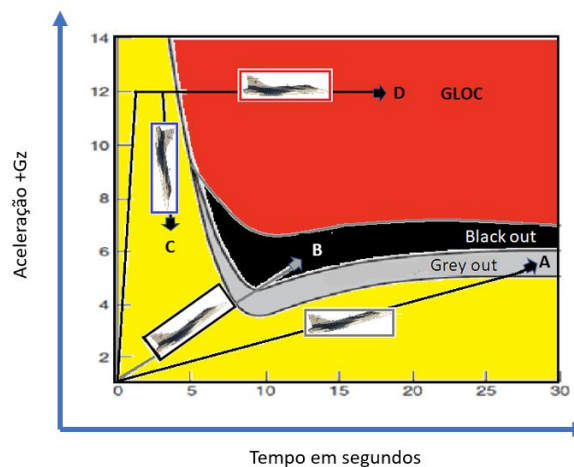
Figura 2 – Trajetória da aeronave e repercussão fisiológica de um ataque ao solo.



Fonte: o autor

Cabe ressaltar que as aeronaves mais modernas, como o F39-Gripen por exemplo, têm capacidade de realizar determinadas manobras com razão de instalação maior que 1G por segundo. Nesta condição o piloto pode evoluir diretamente para G-LOC, sem antes experimentar os sintomas visuais (FAA, 2022), como vemos na Figura 3, exigindo que os pilotos estejam mais preparados e capacitados para operá-las de forma segura.

Figura 3 – Sintomas de acordo com as características da +GZ.



Fonte: o autor, baseado em DAVID & DAVID (2006).

3.2 FISIOLOGIA

Para que entendamos o mecanismo de influência da aceleração na fisiologia humana, cabe lembrar que o elemento central do sistema circulatório é o coração. Este órgão é responsável por bombear o sangue oxigenado oriundo dos pulmões através das artérias, que são vasos de alta pressão, robustos e elásticos, levando oxigênio e nutrientes para abastecer os tecidos. Por outro lado, as veias são vasos de baixa pressão, com menor capacidade elástica e conduzem o sangue desoxigenado oriundo dos tecidos até os pulmões para realização da troca gasosa (FAA, 2022).

Dessa forma, fazendo uma interseção entre o funcionamento do sistema circulatório e as leis da física, entendemos que quando as acelerações G são aplicadas no nosso corpo, agindo sobre a dinâmica dos fluidos (sangue contido no sistema circulatório), provocam modificações significativas nas pressões arterial e venosa (DAVID & DAVID, 2006), podendo comprometer a circulação sanguínea, prejudicando a oxigenação tecidual.

Embora as acelerações transversais (G_x) e Laterais (G_y) possam ocorrer, elas não desempenham influência tão importante para a fisiologia do piloto, ao contrário das acelerações verticais (G_z). Ainda, sabe-se que podemos sofrer impactos significativos com as acelerações $-G_z$, contudo optaremos, neste estudo, por abordar somente as acelerações $+G_z$, condições nas quais sangue tende a migrar e se acumular nos membros inferiores, causando redução do retorno venoso, débito cardíaco e em última instância, comprometendo o aporte de sangue, conseqüentemente, de oxigênio para os olhos e cérebro, causando o fenômeno também conhecido como hipoxia estagnante (FAA, 2022), situação na qual pode-se interferir de forma ativa e efetiva para evitar ou mitigar tal situação como proporemos a seguir.

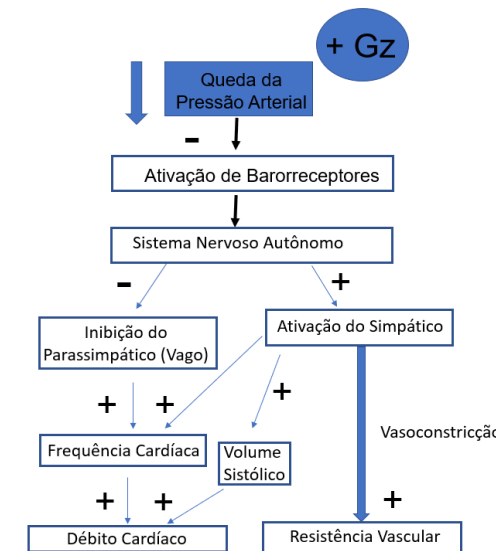
Fisiologicamente, o nosso organismo como resultado da diminuição da pressão arterial, promove estimulação dos barorreceptores presentes nas artérias carótidas e na artéria aorta, ativando o sistema autonômico, provocando estimulação simpática e inibição do sistema parassimpático. Conseqüentemente, ocorre uma elevação da frequência cardíaca, do volume sistólico e da resistência vascular periférica por meio da vasoconstrição, numa tentativa de restaurar o débito cardíaco e a pressão arterial, como ilustrado na Figura 4 (AGARD-LS-202, 1995).

Adicionalmente, além da resposta simpática descrita acima, sabe-se que os efeitos endócrinos baseados na elevação do nível sérico de cortisol, epinefrina e norepinefrina, apesar de serem mais lentos, também são importantes mecanismos para manutenção da pressão de

perfusão, especialmente quando as acelerações são sustentadas por períodos mais longos (DAVIS, 2012).

No entanto, infelizmente o resultado do mecanismo compensatório promovido por nosso corpo pode demorar mais tempo para atingir o seu objetivo protetor do que o suprimento de oxigênio pode durar. Nesses casos, podem ocorrer os efeitos da hipoxia estagnante, manifestada por meio de perturbações visuais, denominadas *Grayout* e *Blackout*. Da mesma forma, pela alta sensibilidade do cérebro à carência de oxigênio, alterações de nível de consciência como, a quase perda de consciência (*Acceleration-Induced Near-Loss of Consciousness* ou A-LOC) ou até mesmo perda da consciência (G-LOC) podem ocorrer (FAA, 2022).

Figura 4 - Resposta fisiológica a redução da pressão arterial causada pela aceleração +Gz.



Fonte: o autor, baseado no AGARD-LS-202 (1995).

Além da direção, sentido, intensidade e razão de instalação das acelerações, diversos outros fatores podem influenciar a tolerância do piloto aos efeitos da aceleração +Gz, como condição inata, morfologia corporal, condicionamento físico, grau de hidratação, tabagismo, fadiga, condição nutricional, glicemia, consumo de álcool, gênero, baixa oferta prévia de oxigênio, hiperventilação, infecção, temperatura ambiente, condições operacionais e situações de combate (DAVID & DAVID, 2006).

Os pilotos de aeronaves militares de alto desempenho estão frequentemente expostos à voos com alta incidência de carga G, por isso apresentam maiores chances de desenvolverem os efeitos das acelerações mencionados acima. No âmbito da Força Aérea Brasileira (FAB), há

uma escassez de pesquisas que buscam investigar a prevalência dos sintomas das forças acelerativas nos pilotos de alto rendimento. O estudo de Alvim (1995), por exemplo, buscou avaliar essa prevalência e, como resultado de um questionário aplicado à 193 pilotos entre 1991 e 1992, obteve-se que 43% deles relataram já terem tido algum sintoma relacionado a hipoxia estagnante, sendo 11,92% *grayout* ou perda de visão periférica, 20,72% *black out* e 10,36% G-LOC. Ainda, no grupo que relatou o G-LOC, 20% dos pilotos evoluíram diretamente para perda de consciência enquanto 80% sofreram previamente os sintomas de *black out*.

A partir do entendimento da fisiologia, do conhecimento do impacto das acelerações nos pilotos da FAB e, com a percepção do salto operacional devido a implementação do F39 Gripen (SAAB, 2022) tornou-se notória a necessidade de desenvolver estratégias para melhoria da interface homem-máquina. Algumas estratégias já são utilizadas, como os trajes anti-G, acerto de inclinação dos assentos, que proporcionam “redução da distância vertical” entre o coração e a cabeça, assim como a utilização de mecanismos de respiração com pressão positiva. Existem também estratégias com foco no desenvolvimento dos recursos humanos, como programas de condicionamento físico específico e o treinamento de manobras corporais que ampliam a tolerância contra as acelerações +Gz, sendo a *Anti G Straining Maneuver* (AGSM), a principal manobra.

3.3 ANTI G STRAINING MANEUVER (AGSM)

Conforme descrito acima, em situações de voo com ocorrência de aceleração +Gz, o piloto pode sofrer alterações visuais e até perda de consciência, e por isso diversas contramedidas têm sido adotadas, englobando aspectos relacionados a ergonomia, como, sistemas de respiração com pressão positiva e trajes pressurizados. Além disso, existem estratégias para melhorar a capacidade individual de cada piloto como a customização de treinamento físico e realização de estágios com acelerações em centrífugas humanas (CH), onde técnicas e manobras anti-G são apresentadas, treinadas e avaliadas (CHOI, 2015).

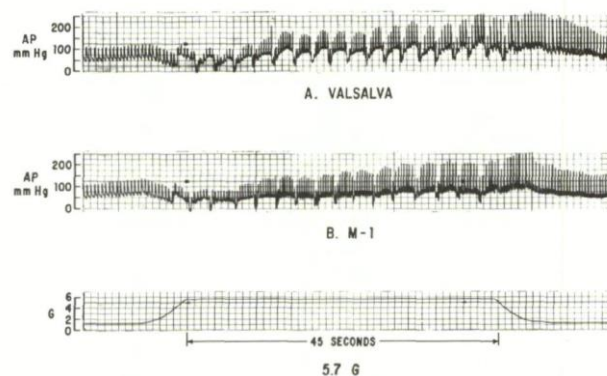
Os perfis de treinamento dos pilotos em Centrífugas Humanas são desenhados de acordo com as capacidades das aeronaves, sendo que, para o piloto ser considerado apto no perfil mais avançado, ele deverá tolerar uma aceleração de 9G por até 30 segundos (CHOI, 2015). Diante disso, sabendo que a Manobra Anti-G (AGSM) pode acrescentar até 4 G quando bem executada (DAVID & DAVID, 2006), ela passa a ocupar o status de ferramenta essencial para elevação da tolerância dos pilotos contra os efeitos das acelerações (EIKEN, 2007).

Sobre a técnica da AGSM, principalmente quando imaginada em um ambiente de gestão de múltiplas tarefas, como a pilotagem de aeronave de alta performance durante combate aéreo, entende-se que a sua correta execução pode ser complexa e exaustiva. Então, devido à sua complexidade e demanda física, se faz necessário o aprimoramento contínuo da AGSM para alcançar os objetivos desejados (SAH, 2018). Kumar e colaboradores (2020) também defendem a necessidade de treinamento contínuo, quando verificaram que em até 50% das ocorrências de A-LOC e 55% de G-LOC dos pilotos indianos em treinamento de centrifuga humana estavam relacionados a falhas de execução da AGSM.

A AGSM é composta basicamente por dois componentes que devem ser executados simultaneamente: O respiratório, é o componente no qual o piloto realiza uma inspiração preparatória e posteriormente controla o ritmo com trocas a cada 3 segundos, e executa a exalação contra a glote ocluída (L1 maneuver) ou parcialmente ocluída (M1 maneuver). A outra componente é a muscular, onde se realiza a contração isométrica de músculos dos membros inferiores, glúteos e abdome (TU, 2020). É importante destacar que as ações respiratórias ocorrem simultaneamente às contrações isométricas.

Tanto a M1 quanto a L1 por meio da contração do diafragma e músculos respiratórios promovem elevação da pressão abdominal e intratorácica. Essa pressão é transmitida diretamente para os grandes vasos e coração, elevando a pressão arterial. Adicionalmente, a contração do diafragma impede o aumento da distância entre o coração e a cabeça (DAVID & DAVID, 2006). No que diz respeito a variação de pressão arterial ocular elas apresentam efeitos similares (Figura 5), sendo ambas igualmente eficientes, no entanto a L1 tem sido preferida pelos pilotos por causarem menos irritação laríngea (AGARD-AG-322, 1990).

Figura 5 – Variação da pressão ocular durante 45s de AGSM.



Fonte: AGARD AG-190 (1974).

Na mesma direção, a pressão mecânica exercida pela contração isométrica de músculos do abdome e membros inferiores sobre as artérias e arteríolas provocam redução do diâmetro desses vasos, promovendo a elevação da resistência vascular periférica e conseqüentemente da PA. Adicionalmente, a mesma tensão mecânica, quando imposta ao sistema venoso impede o escape de sangue para os membros inferiores preservando o retorno venoso (DAVID & DAVID, 2006).

Levando em consideração a importância da AGSM como fator de proteção, sabendo que a componente muscular é primordial, pois isoladamente pode adicionar até 2G de tolerância (AGARD-AG-322, 1990), pode-se imaginar que se conseguirmos mensurá-la, seria possível encontrar alguma relação entre as ações musculares com a tolerância à aceleração +Gz. No entanto essa avaliação apenas através da simples observação da atitude do piloto é muito difícil e limitada e, dessa forma, a eletromiografia (EMG) como técnica consagrada de mensuração de atividade muscular, poderia ser útil para avaliação da qualidade da AGSM. Ao mesmo tempo, a técnica pode ainda contribuir para auxiliar nas instruções e treinamentos da manobra, proporcionando correções em tempo real através de *biofeedback* e, conseqüentemente promovendo o aperfeiçoamento da AGSM dos pilotos (CHEN; WU; KUO, 2004).

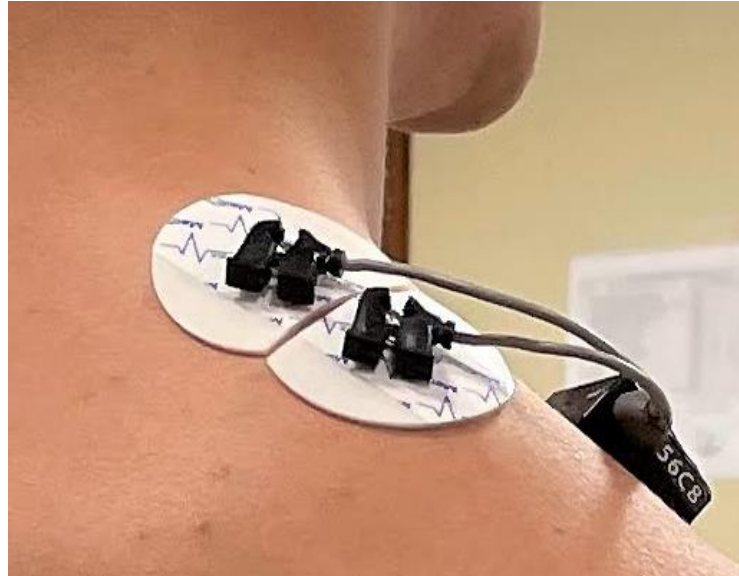
3.4 ELETROMIOGRAFIA

Habitualmente a EMG é utilizada para três objetivos principais: Identificar o início da ativação muscular, mensurar a força produzida por um músculo e ainda como indicador de predição dos processos de fadiga (DE LUCA, 1997). Dessa forma a técnica é de grande valia na investigação das funções neuromusculares, e por isso, ao longo dos últimos anos a EMG tem sido amplamente utilizada como exame complementar em investigações de condições fisiopatológicas (neuropatias e miopatias), estudos de ergonomia, prevenção e monitoração de distúrbios relacionados a ocupação, fadiga muscular, tratamento de dores osteomusculares, reabilitação de lesões neurológicas/musculares, controle de próteses, treinamento esportivo (desempenho) e *biofeedback* ou retroalimentação (MERLETTI & FARINA, 2016).

Na eletromiografia de superfície os eletrodos são posicionados na superfície da pele imediatamente acima do músculo, como ilustrado na Figura 6, sendo capaz de captar, registrar e representar de forma gráfica a atividade elétrica muscular (MERLETTI & FARINA, 2016) e tem a vantagem de ser não invasiva e, portanto, mantém a integridade da pele, exige menos cuidados de antissepsia e não causa dor. Por essas características, tem sido amplamente

empregada em estudos clínicos e pesquisas, principalmente, na área do movimento humano (AZEVEDO, 2015).

Figura 6 – Exemplo de posicionamento de eletrodos na superfície da pele.



Fonte: o autor.

3.4.1 EMG e AGSM

Como mencionado anteriormente, o potencial da AGSM em elevar a tolerância dos pilotos contra às forças +Gz e consequentemente a capacidade operacional, baseia-se na correta realização da manobra, ou seja, na contração adequada dos músculos alvo. Sabendo que a EMG é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliação de atividade muscular, ela torna-se potencialmente útil para mensuração da qualidade da execução da AGSM e, baseado nessas premissas, alguns autores lançaram mão dessa tecnologia para estudar a AGSM, onde encontramos a partir de revisão de literatura diferentes abordagens, passando pela avaliação da atividade dos músculos respiratórios (CHEN; WU; KUO, 2004), para verificar quando os pilotos estavam efetivamente executando as orientações de relaxamento e contração (EIKEN *et al.*, 2007), dimensionamento do impacto da contração muscular no fluxo sanguíneo do cérebro (KOBAYASHI; KIKUKAWA; ONOZAWA, 2002), para avaliar o impacto da ventilação com pressão positiva na contração muscular durante AGSM (FERNANDES *et al.*, 2003) e para quantificar a fadiga muscular causada pela AGSM (BAIN *et al.*, 1997).

Com o passar do tempo, outras aplicabilidades da EMG no contexto de prevenção dos efeitos das acelerações + Gz surgiram, a partir da análise da IAV (Integrate Absolute Value), permitindo a quantificação da contração muscular, enquanto a WL (Wave Length), além da

contração muscular mensura também a fadiga, utilizando-se esses marcadores, a partir da atividade dos gastrocnêmios de pilotos durante exposição à acelerações +Gz em centrifuga humana, foi observada tendência de rápida degradação destes índices antes do G-LOC, permitindo o desenvolvimento de algoritmos capazes de detectar precocemente o G-LOC (CHOI *et al.*, 2015), a partir dos quais, foi proposto o desenvolvimento de um dispositivo vestível com a capacidade de além de detectar tais mudanças, notificar o piloto do risco iminente da perda de consciência através de sistema de alarme contra G-LOC (KIM *et al.*, 2017).

Além da grande importância dos fatores físicos para o sucesso dos pilotos em treinamentos em CH, sabe-se também do impacto da condição psicológica, sendo a autoavaliação da capacidade de realizar a AGSM um aspecto relevante (YUN; OH; SHIN, 2019), dessa forma, acredita-se, que o desenvolvimento de técnicas de ensino, assim como a utilização de mecanismos de avaliação automatizados e objetivos da AGSM baseados na EMG podem impactar no resultado dos pilotos em Centrifuga Humana ou em voo (CHEN; WU; KUO, 2004)

3.4.2 Aquisição do sinal de EMG

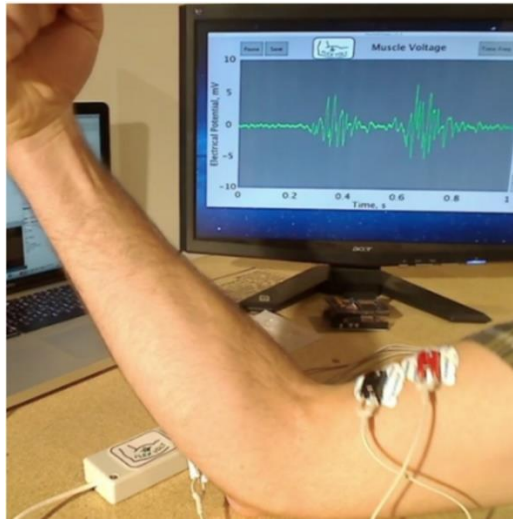
Os eletrodos podem ser do tipo monopolar, que dimensionam a diferença de potencial entre o ponto de captação e um ponto de referência, ou bipolar, onde são utilizados dois eletrodos e caracteriza-se pela diferença de potencial em dois pontos de captação, medida em relação a um terceiro ponto ou referência (RICCIOTTI, 2006). Os sinais captados, podem ser transmitidos para o condicionador de sinais de duas formas, por meio de rede sem fio ou via cabos como veremos nas Figura 7 e Figura 8 respectivamente.

Figura 7 – Exemplo de aquisição de sinal através de eletrodo bipolar utilizando rede sem fio.



Fonte: o próprio autor.

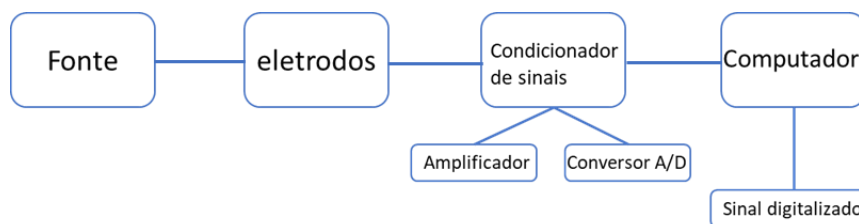
Figura 8 – Exemplo de aquisição de sinal através de eletrodo bipolar utilizando rede com fio.



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromyography.png>

Durante a contração muscular, um potencial de ação percorre a membrana celular, gerando a despolarização das fibras musculares, o que altera o perfil elétrico da membrana celular. O sinal captado é proporcional à soma dos potenciais de ação das unidades motoras ativadas que se encontram entre o par de eletrodos (RICCIOTTI, 2006). Esse sinal é amplificado e filtrado por hardware e pode ser analisado em tempo real como um *biofeedback*, normalmente o sinal na forma bruta. Ou ainda, tratado *offline* em *softwares* ou ambientes de programação, que fornecem diversos métodos de análise por meio de cálculos matemáticos (ALMEIDA, 2010). A Figura 9, vista abaixo, apresenta o diagrama de blocos com um sistema básico de aquisição do sinal de sEMG.

Figura 9 – Diagrama de blocos do sistema de aquisição de EMG



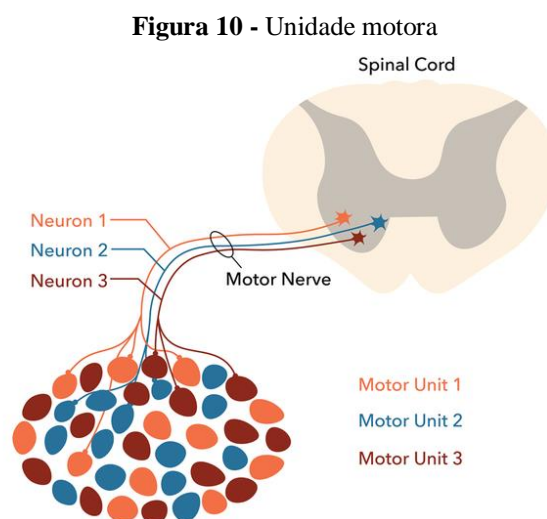
Fonte: o autor.

A EMG apesar de ser um método seguro e confiável, pode sofrer a influência de fatores intrínsecos (não modificáveis), inerentes ao corpo estudado, como a temperatura, hidratação, fluxo sanguíneo, diâmetro da fibra muscular, número de fibras musculares envolvidas, velocidade de condução, tipo de fibra muscular, localização da fibra, taxa de disparo da unidade

motora, distância do eletrodo para a fibra muscular, quantidade e tipo de tecido que envolve o músculo, número de unidades motoras ativas e fadiga (RAEZ; HUSSAIN; MOHD-YASIN 2006). Ainda existem fatores extrínsecos (modificáveis), relativos à técnica empregada, tipo de instrumentação e protocolos utilizado, como por exemplo: o tipo de eletrodo; material do eletrodo (Ag, Ag/AgCl); posicionamento do eletrodo em relação à penetração do músculo; distância entre os eletrodos; condicionamento do sinal; ruído do ambiente (rede elétrica); interferência de sinais de outros músculos esqueléticos (*crosstalk*); interferência de músculo cardíaco (ECG) e; condição da superfície da pele (RAEZ; HUSSAIN; MOHD-YASIN 2006). Sendo assim, torna-se fundamental a padronização do tipo de eletrodo e seu adequado posicionamento considerando as características de cada músculo, distância entre os eletrodos e a realização do preparo da pele através de tricotomia e limpeza (MERLETTI & FARINA, 2016). Deste modo, busca-se minimizar fontes de erros ou ruídos associados a fatores extrínsecos.

3.4.3 Interpretação do sinal

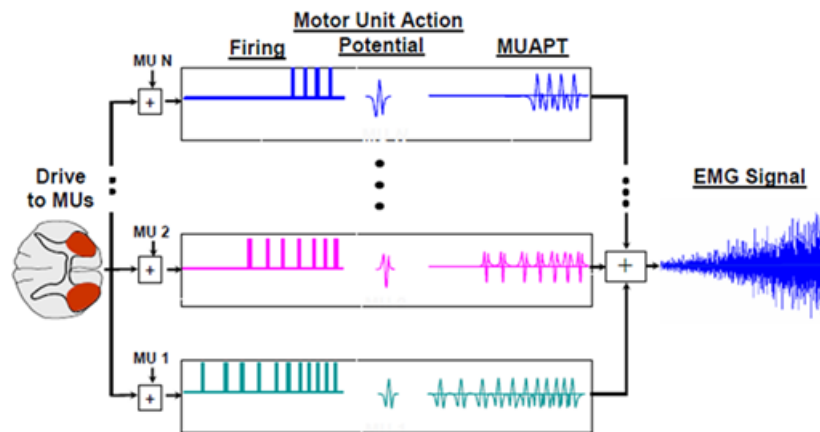
Podemos acreditar que durante a contração de um músculo todas as fibras se contraem simultaneamente, mas na verdade acontece uma alternância entre contração e relaxamento das Unidades Motoras (UM), que são conjuntos compostos por grupos de fibras musculares associadas a um terminal nervoso, como ilustrado na Figura 10 (BASMAJIAN & De LUCA, 1985).



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Motor_unit.png

A despolarização da membrana de um músculo se propaga em ambas as direções ao longo da fibra, acompanhada de um movimento de íons que gera um campo eletromagnético cuja tensão poderá ser detectada por eletrodos e pode ser traduzida em potencial de ação, por fim, o gráfico que vemos na EMG é a representação da soma de vários potenciais de ação (BASMAJIAN & De LUCA, 1985), conforme pode-se observar na Figura 11, a seguir.

Figura 11 – Somatório de unidades motoras gerando um sinal de EMG.



Fonte: DE LUCA & ERIN (1994).

3.4.4 Parâmetros da EMG

O sinal adquirido pode ser interpretado na sua forma bruta, ou através de parâmetros no domínio do tempo ou no domínio da frequência. No Domínio do Tempo os principais parâmetros são a raiz média quadrática, em inglês, *Root Mean Squared (RMS)* e o valor médio retificado, do inglês *Average Rectified Value (ARV)* (ALMEIDA, 2010). Os cálculos para estimativa desses parâmetros estão representados nas equações 1 e 2, extraídas de Farina e Merletti (2000). Esses parâmetros, *RMS* e *ARV*, pode sem chamados de parâmetros de amplitude, por testarem diretamente à amplitude do sinal bruto. A Figura 12 exemplifica uma curva *RMS* e uma curva *ARV* calculadas em janelas de 0.1s, a partir do sinal bruto contido no gráfico da figura. Ou seja, uma vez que a frequência de amostragem do sinal foi 2000 amostras/s, os valores de *RMS* e *ARV* foram calculados para um conjunto de 200 amostras. O intervalo da janela pode ser variável e em alguns casos calcula-se o valor *RMS* ou *ARV* para todo sinal.

Tanto *RMS* quanto *ARV* são parâmetros associados à amplitude do sinal de EMG, uteis para avaliar a ativação/desativação muscular, sendo que nas contrações isométricas o *RMS* também pode representar potência (ALMEIDA, 2010).

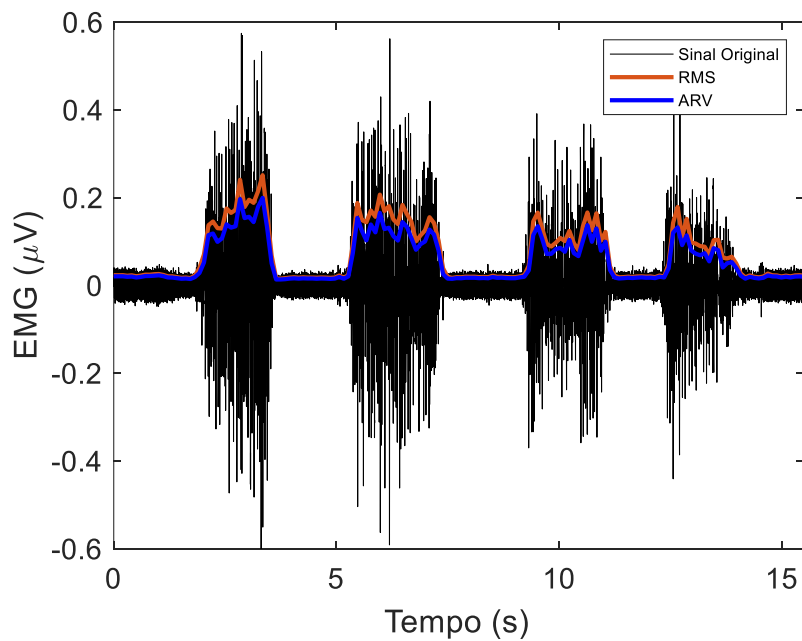
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

onde X_i é o valor da amostra i do sinal do sinal de EMGs N é o número de amostras do trecho analisado.

$$ARV = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |x_i| \quad (2)$$

onde X_i é o valor da amostra i do sinal do sinal de EMGs N é o número de amostras do trecho analisado.

Figura 12 – Traçado dos parâmetros no domínio do tempo. Sinal Bruto de EMG (em preto), curva RMS (vermelho) para um janelamento de 0.1s e curva ARV (azul) para um janelamento de 0.1s.



Fonte: o autor.

No Domínio da Frequência, parâmetros como Potência Espectral (*Power Spectrum* - PS), Densidade da Potência Espectral (*Power Spectrum Density* - PSD), Frequência Média (*Mean Frequency* - MNF) e Frequência Mediana (*Median Frequency* - MDF), são amplamente utilizados, sendo que, MNF e MDF são comumente aplicados respectivamente em estudos de força muscular e fadiga muscular (MERLETTI & FARINA, 2016). Conforme De Luca (1984) MDF é menos sujeita a ruídos e atenuação de sinais e, na maioria dos casos mais sensível aos processos bioquímicos e fisiológicos. Contudo, ambos são parâmetros úteis para detectar fadiga

muscular durante contrações sustentadas (DE LUCA, 1984), que é o caso da AGSM. As equações 3 e 4 mostram como são calculadas a MNF e a MDF.

$$MNF = \frac{\sum_{i=1}^M f_i P_i}{\sum_{i=1}^M P_i} \quad (3)$$

onde, M é a maior frequência considerada para análise e P_i é a i ésima linha do espectro de potência.

$$\sum_{i=1}^{MDF} P_i = \sum_{i=MDF}^M P_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^M P_i \quad (4)$$

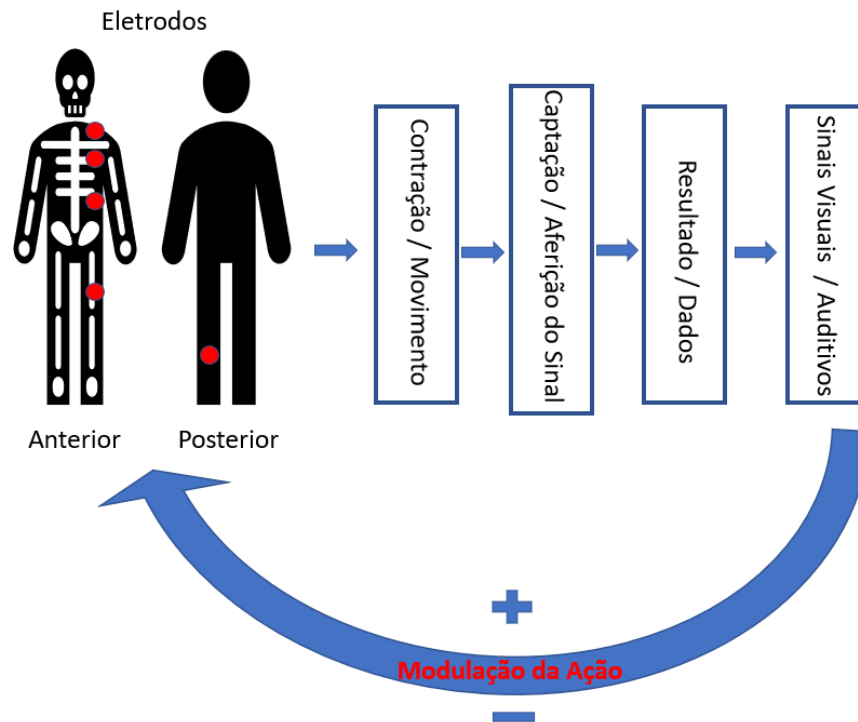
onde, M é a maior frequência considerada para análise e P_i é a i ésima linha do espectro de potência.

3.5 FEEDBACK

Com o objetivo de proporcionar o feedback da AGSM realizado pelos pilotos, a USAF implementou um programa com utilização de vídeos e *debriefings*, onde 63% dos pilotos afirmaram através de questionário, terem conseguido identificar as suas principais falhas de execução. Consequentemente, puderam corrigi-las, reconhecendo o treinamento como ferramenta para aprimoramento da AGSM (LYONS *et al*, 1997). Uma evolução do método supracitado, seria o emprego do *biofeedback*, que se fundamenta basicamente em três passos, aferição da variável fisiológica, transformação do resultado aferido em dados, que serão convertidos em sinais visuais ou auditivos, apresentados para o paciente/aluno, orientando uma mudança de comportamento (correção, modulação ou motivação) que tornará a ação mais eficiente (CARR; SHEPHERD, 2003), como apresentado na forma de esquema na Figura 13, que ilustra um sistema de *biofeedback* de EMG.

O *biofeedback* da EMG, por exemplo, pode ser empregado em um momento posterior à execução da atividade com a intenção de melhorar a técnica de treinamentos neuromusculares. Contudo, a técnica de EMG também tem capacidade de oferecer *biofeedback* durante a atividade ou ação muscular, ou seja, em tempo real, e pode potencializar a ativação e o recrutamento muscular (KIEFER *et al*, 2015), durante uma determinada tarefa motora.

Figura 13 – Sistema de *Biofeedback* de EMG.



Fonte: o autor.

3.5.1 Biofeedback em tempo real

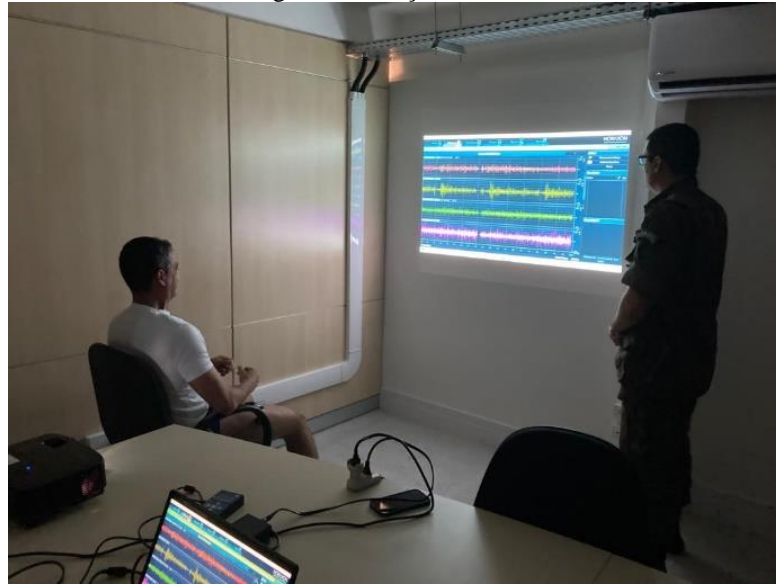
Diversas estratégias de treinamento com utilização de *biofeedback* em tempo real tem sido testadas, para fins de treinamento, inclusive com comprovação de maior incidência de tomadas de decisões acertadas em simulados para profissionais que lidam com tarefas com alta demanda psicológica (COHEN; BRINKMAN; NEERINCX, 2016). Ainda, o *biofeedback*, pode ser utilizado para fins terapêuticos como na reabilitação de incontinências urinária, adaptação a utilização de próteses de membros e para tratamento de lesões osteomusculares. Ng, Zhang e Li (2008), por exemplo, perceberam, em casos de síndrome de dor femuropatelar, que os sinais auditivos e visuais fornecidos pelo *biofeedback* em tempo real da EMG, auxiliaram os pacientes a melhorar o controle do recrutamento, a frequência de ativação das unidades motoras e conseqüentemente maior quantidade de tensão muscular (DURSUN; DURSUN, KILIÇ; 2001), resultando, como visto no trabalho de Yip e NG (2006) em menor tempo de recuperação no grupo de pacientes que utilizou estratégia de reabilitação com emprego do *biofeedback* da EMG.

No campo do desempenho humano, notou-se melhora da capacidade muscular em indivíduos que foram submetidos a programas de treinamento com uso de contração isométrica associada ao *biofeedback* da EMG em tempo real (LUCCA; RECCHIUTI, 1983), proporcionando aperfeiçoamento da mecânica do movimento e maior engajamento muscular, no mesmo estudo, verificou-se ainda que nas estratégias que utilizaram o sinal eletromiográfico para controle de jogos ocorreu maior motivação e envolvimento dos instruídos (GARCIA-HERNANDEZ *et al*, 2019), tornando-se um caminho promissor para desenvolvimento de treinamentos.

Ainda no espectro do aperfeiçoamento, mais especificamente de pilotos, sabe-se que existe relação entre a tolerância às acelerações +Gz com a capacidade individual de manter o recrutamento de unidades motoras (CORWALL & KROCK, 1992) e que por sua vez, a aprendizagem motora proporcionada pelo *biofeedback*, tem demonstrado contribuição significativa para desenvolvimento de estratégias de recrutamento muscular (SITARAM *et al*, 2017), dessa forma a EMG coloca-se como instrumento com grande potencial para treinamentos de solo e validação da qualidade da execução da AGSM por meio de métodos objetivos (CHEM; WU; KUO, 2004), fato corroborado quando verificou-se aumento estatisticamente significativo na amplitude média normalizada de RMS em todos os quatro grupos de músculos (peitoral maior, reto abdominal, vasto lateral e gastrocnêmio) após instrução sobre a técnica correta de execução de AGSM, e paralelamente, também foi constatada significância estatística na elevação da tolerância à aceleração +Gz na centrífuga (SAH; NATAJARA; RASTOGI, 2018).

Sabemos que treinamentos periódicos para “automatizar” a execução da manobra e potencializar a capacidade dos pilotos frente a degradação em situações de estresse ou sobrecarga cognitiva (LYONS *et al*, 1997) é fundamental. Da mesma forma, sabe-se do potencial da EMG como instrumento de *biofeedback em tempo real*, no entanto, após revisão de literatura, observamos que esse potencial não tem sido explorado como ferramenta de ensino, com o objetivo de orientar e corrigir falhas de estratégias de recrutamento motor por parte dos pilotos em tempo real, como ilustrado na Figura 14. Além disso, o *biofeedback* pós execução da AGSM também pode fornecer indicadores importantes para avaliar a qualidade da manobra. Sendo assim, o sistema de EMG possui um grande potencial para contribuir com melhor desempenho na realização da AGSM, e desta forma melhorar a capacidade operacional dos pilotos de alta performance e da aviação de instrução no âmbito da FAB.

Figura 14 – Piloto da FAB testando estratégias de ativação muscular com auxílio do feedback em tempo real.



Fonte: o autor.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AMOSTRA

Conforme descrito em legislação da Força Aérea Brasileira (FAB), ICA 37-650 – Currículo Mínimo do Estágio de Adaptação Fisiológica (BRASIL, 2017), todos os pilotos da FAB devem ser submetidos ao treinamento fisiológico no IMAE, sendo a primeira vez ainda enquanto cadetes da Academia da Força Aérea (AFA) e posteriormente em revalidações a cada 5 anos, proporcionando oportunidades para a realização da coleta de dados por conveniência. Neste contexto, a amostra foi obtida durante a visita dos cadetes da AFA, para realização do treinamento fisiológico. A amostra, obtida por conveniência, foi composta de 79 de cadetes, que foram dispostos da seguinte forma: 37 no grupo controle e 42 no grupo intervenção.

4.1.1 Critérios de Inclusão

Foram selecionados alunos da AFA, brasileiros, voluntários, necessariamente do quadro de aviadores, com inspeção de saúde válida e sem restrições. Além disso, os mesmos declararam no dia da coleta estarem em gozo pleno de condições de saúde, instrumentado através da Ficha de Informação Médica (FIME) e foram esclarecidos a respeito da pesquisa e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

4.1.2 Critérios de Exclusão

Foram excluídos da pesquisa os cadetes que não tinham inspeção de saúde válida ou com restrições, assim como os que no momento da coleta de dados não estavam em plenas condições físicas ou que não concordaram em assinar o termo consentimento livre e esclarecido.

4.2 INSTRUMENTAÇÃO

Os cadetes realizaram os testes utilizando uniforme de educação física (short e camiseta), a fim de facilitar a exposição e preparo da pele nas topografias dos músculos de interesse.

Foi utilizada uma cadeira tipo de escritório, onde o aluno assumiu postura próxima à adotada em condição de voo real e realizou a AGSM sob supervisão de instrutores previamente treinados.

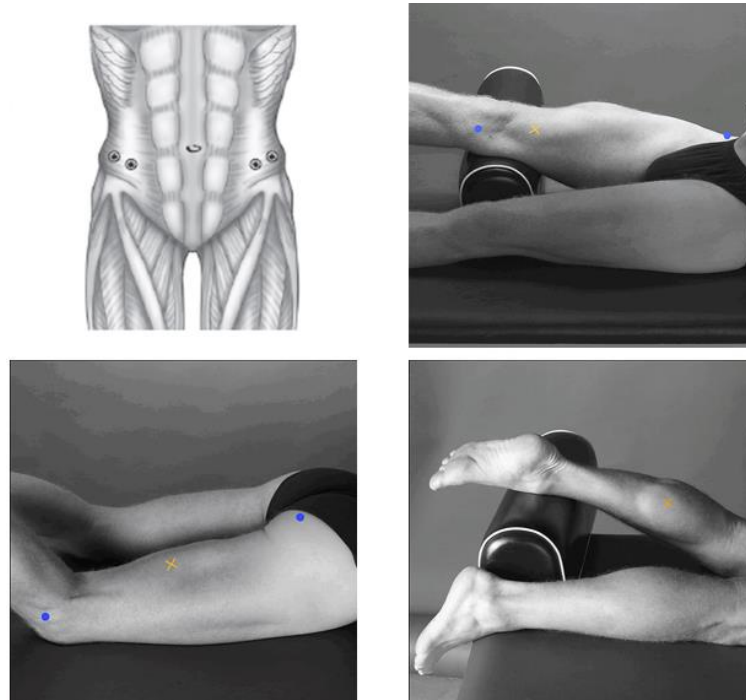
Para monitorização da atividade muscular e disponibilização de *biofeedback* utilizamos um Sistema de Eletromiografia sem fio (DTS System, NORAXON, USA), com seus respectivos receptores sem fio, cabos de conexão entre os receptores e eletrodos, fita adesiva dupla face customizada que acompanha o EMG para fixação adequada dos sensores na pele.

Foram utilizados eletrodos comerciais de ECG, de Ag/AgCl, com conector metálico, etiqueta de identificação, espuma base, gel sólido e filme, posicionados na configuração bipolar.

4.2.1 Posicionamento dos eletrodos

Foram analisados quatro músculos que participam ativamente da AGSM: oblíquo do abdome, vasto medial, bíceps femoral e gastrocnêmio medial, sendo esses do dimídio direito por ser o lado predominante na maior parte da população. Para posicionamento dos eletrodos, o ventre de cada músculo foi identificado a partir das recomendações de SENIAM e CRISWELL, E. (2010), conforme ilustrado na Figura 15. Cabe ressaltar que os detalhes de posicionamento de eletrodos para cada um dos músculos, estão descritos no Anexo I deste documento.

Figura 15 – Visualização do ventre dos músculos de interesse.



Fonte: SENIAM e CRISWELL, E. (2010)

A superfície da pele acima dos ventres foi preparada para receber os eletrodos, procedimento composto por tricotomia com lâmina de barbear descartável, seguida de limpeza

por meio de fricção de gaze embebida em álcool 70%, por fim, dois eletrodos foram afixados na superfície preparada, na direção paralela à penação do músculo, respeitando uma distancia entre os centros dos eletrodos bipolares de 20 mm, conforme demonstrado na Figura 16, com o objetivo de minimizar o *crosstalk* (HERMENS, H. J. *et al.*, 2000).

Figura 16 – Preparação da pele para fixação de eletrodos.



Fonte: o próprio autor.

4.3 PROTOCOLO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental buscou comparar a execução de AGSM sem e com a utilização do *biofeedback* e, para isso a amostra foi dividida em dois grupos: controle e intervenção. Os dois grupos passaram inicialmente por instrução teórica prévia sobre AGSM, conforme previsto no cronograma do EAF dos cadetes da AFA. Ao final da instrução teórica, realizaram exercício prático para aprenderem a executar de forma correta as componentes musculares e respiratórias da AGSM e, conseqüentemente, executar a AGSM completa.

Após serem instrumentalizados, os voluntários de ambos os grupos realizaram a AGSM em duas oportunidades, com a duração de 30s cada e com um intervalo de 3 minutos de recuperação entre elas, onde o cadete deveria efetuar as contrações durante todo o tempo de manobra. Paralelamente, a cada 3s o instrutor informou, por meio de comando verbal, os momentos em que deveriam ser realizadas as respirações. Portanto, cada execução da AGSM contou com 10 respirações.

O grupo controle realizou a atividade sem receber qualquer tipo de *feedback* em relação ao seu desempenho, enquanto o grupo intervenção recebeu dois tipos de *feedback*, sendo o

primeiro uma análise qualitativa do sinal obtido na primeira execução, com indicações positivas e negativas da componente muscular. No segundo *feedback* o sinal foi exposto em tempo real ao cadete a fim de que o mesmo identificasse a melhor estratégia motora para realização da ação muscular. É importante ressaltar que os dois *feedbacks* foram realizados entre a primeira e segunda tentativa e não durante a realização da manobra.

Os dados de EMG foram obtidos por meio do programa MyoMuscle (NORAXON, USA) com taxa de amostragem de 1500 amostras/s, continuamente, durante todo protocolo, por um total de 50s, sendo: 10s de repouso; 30s de AGSM e; 10s de repouso, dessa forma cada sujeito de pesquisa teve ao final da coleta, dois arquivos com 50s de dados adquiridos de quatro músculos, referentes à 1ª e a 2ª AGSM.

Adicionalmente, a fim de captar e documentar a percepção de aceitação e avaliação do treinamento por parte dos voluntários, foi aplicado o Net Promoter Score (NPS). Este questionário, defendido por Reichheld (2003), consiste em uma ferramenta inovadora, desenvolvida por empresas para avaliar a fidelidade dos clientes, baseada em questionário simples e objetivo. Ele é composto de apenas uma ou poucas perguntas de fácil entendimento, diferente das pesquisas de satisfação extensas e complexas, que dificultam tanto a coleta, quanto a interpretação dos dados. O NPS pode ser utilizado como preditor de potencial de crescimento, logo um programa de *feedback* do cliente não deve ser visto apenas como uma “pesquisa de mercado”, mas como uma ferramenta de gestão operacional. Dessa forma, no caso da nossa pesquisa, formulamos as seguintes perguntas:

- “Considerando a sua experiência conosco, por favor, informe uma nota de 0 (muito insatisfeito) a 10 (muito satisfeito)?” e;
- “Você considera a simulação de AGSM com o *biofeedback* de sinais eletromiográficos necessária ou desnecessária, quando comparada à condição realizada sem *biofeedback*?”

De forma a simplificar a exposição do processo de coleta de dados, segue abaixo as etapas realizadas em forma de tópicos:

- Aula expositiva;
- Exercício prático com demonstração da manobra Anti-G;
- Apresentação e assinatura dos Termos de Consentimento Livre e Esclarecido;
- Preparação da superfície cutânea (tricotomia e limpeza com álcool 70%);
- Identificação do ventre muscular;
- Posicionamento dos eletrodos e sensores de EMG;

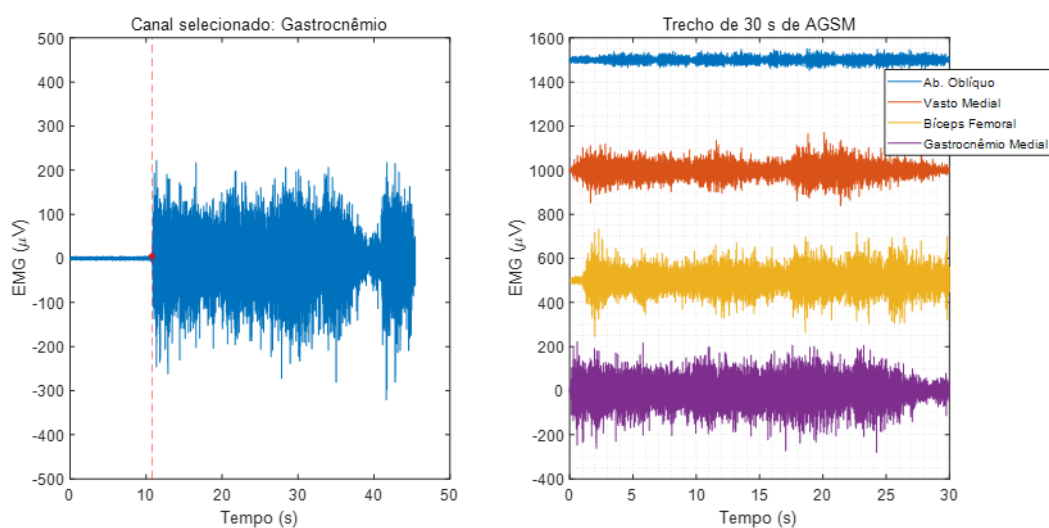
- Primeira tentativa da AGSM durante 30 segundos sem que o aluno tivesse acesso a tela (igual para ambos os grupos);
- Intervalo de recuperação com 3 minutos de duração para os dois grupos, sendo que para o grupo controle sem *feedback* e para o grupo intervenção com *feedback*;
- Segunda tentativa da AGSM durante 30 segundos sem que o aluno veja a tela, assim como na primeira tentativa (igual para ambos os grupos) e;
- Armazenamento dos dados.
- Aplicação do NPS

4.4 ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE DADOS

4.4.1 Sinal de EMG

Os dados brutos obtidos durante os 30 segundos da manobra, tanto na primeira como na segunda tentativa, para os quatro músculos, foram pré processados utilizando os filtros digitais Butterworth. Primeiramente, o trecho de 30s foi destacado a partir do início da contração do primeiro músculo que foi ativado. A **Figura 17** ilustra a identificação do trecho de 30s de AGSM.

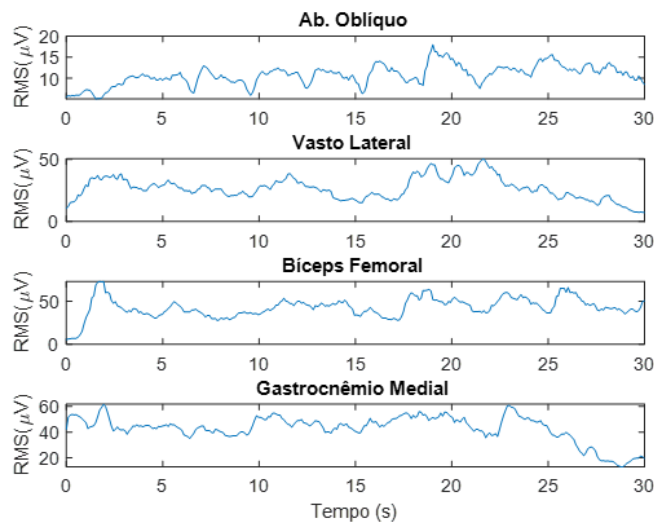
Figura 17 – Exemplo onde a contração do gastrocnêmio medial foi o primeiro músculo a ativar. Gráfico da esquerda indica o momento de início da contração do gastrocnêmio medial e o gráfico da direita mostra o trecho de 30s dos sinais brutos dos quatro músculos que foram destacados para serem processados.



Fonte: o próprio autor.

Os sinais foram inicialmente filtrados por um filtro um passa-banda entre 20 e 350 Hz, de 2ª ordem nos sentidos direto e reverso a fim de reduzir ruídos de altas frequências e de artefacto de movimento. Posteriormente, foi implementado um rejeita-banda centrado em 60 ± 1 Hz, mais 4 harmônicos (120 Hz, 180 Hz, 240 Hz e 300 Hz), com objetivo de excluir os ruídos de rede elétrica. Após o pré-processamento foram calculados os valores RMS para épocas de 0,5s com passos de 0,1s, em cada um dos músculos. Esses valores RMS ao serem conectados foram uma curva sob a qual foi calculada a área (AUC). A Figura 18 é um exemplo do registro da execução da AGSM feita por um voluntário, representando as curvas RMS. Por fim, para verificar a variação da AUC entre a 1ª e 2ª tentativa, em ambos os grupos, calculou-se o parâmetro ΔAUC conforme descrito na equação 5.

Figura 18 – Curvas RMS dos quatro grupamentos musculares durante os 30 segundos da manobra.



Fonte: o próprio autor.

$$\Delta AUC = \frac{AUC_2 - AUC_1}{AUC_1} \times 100 \quad (5)$$

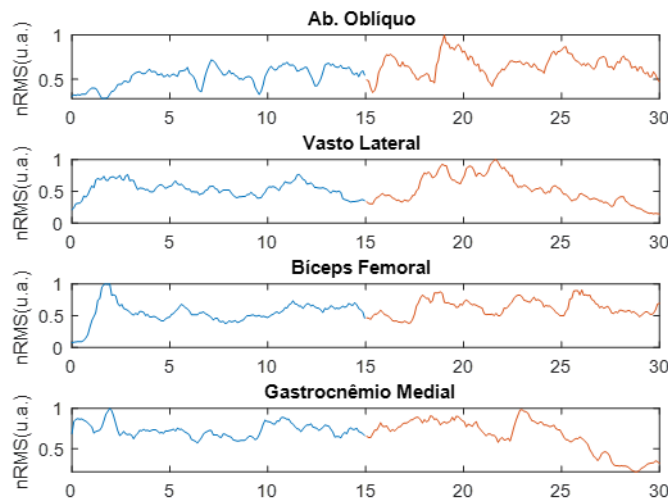
Onde, ΔAUC é a variação percentual da AUC, entre a 1ª e 2ª tentativa de AGSM, para um determinado músculo; AUC_1 é a área sob a curva RMS de um determinado músculo na 1ª tentativa de AGSM e; AUC_2 é a área sob a curva RMS de um determinado músculo na 2ª tentativa de AGSM.

Os valores RMS de ambas as tentativas (1ª e 2ª) também foram normalizados pelo valor máximo encontrado na 1ª tentativa, o parâmetro nRMS exemplificado na **Figura 19**. Neste caso do parâmetro nRMS foi calculada, separadamente, a AUC nos primeiros 15s (AUC_{0-15}) e nos

últimos 15s de AGSM (AUC_{15-30}), com o objetivo de verificar se houve alguma diferença na ativação dos músculos entre os trechos que foram separados. A **Figura 19** também indica essa divisão entre as metades da curva nRMS.

O processamento foi realizado em ambiente de programação GNU Octave 8.3.0. A

Figura 19 – Curvas nRMS dos quatro grupamentos musculares durante os 30s de AGSM, com a divisão em duas metades: a primeira em azul e a metade final em vermelho.



Fonte: o próprio autor.

4.4.2 Dados NPS

Os dados adquiridos pelo NPS foram analisados da seguinte forma: por meio de histograma para a 1ª pergunta que permitiu avaliar a frequência absoluta de cada resposta e; por análise do percentual de cada resposta para a 2ª pergunta, que tinha como opção apenas as respostas “sim” ou “não”.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O teste de Shapiro-Wilk foi usado para testar a normalidade dos dados. Os parâmetros testados dentro de cada grupo podem ser vistos na Tabela 1. Os resultados indicam que todos os grupos não seguem uma distribuição normal.

Tabela 1 – Grupos para comparação estatística.

Grupo	Parâmetros (para cada músculo)		
Controle	ΔAUC	AUC_{0-15}	AUC_{15-30}
Intervenção	ΔAUC	AUC_{0-15}	AUC_{15-30}

Fonte: o autor.

Posteriormente foram aplicados os testes de Mann Whitney e Wilcoxon para comparar os grupos conforme descrito na Tabela 2 a seguir. O nível de significância considerado para o teste foi de 0,95, ou seja, um p-valor $< 0,05$.

Tabela 2 – Descrição da aplicação dos testes estatísticos.

Parâmetros testados para cada músculo	Hipóteses alternativas	Teste
ΔAUC (controle) x ΔAUC (intervenção)	$h_1 =$ grupos são diferentes	Mann Whitney
AUC_{0-15} (controle) x AUC_{15-30} (controle)	$h_1 =$ grupos são diferentes	Wilcoxon
AUC_{0-15} (intervenção) x AUC_{15-30} (intervenção)	$h_1 =$ grupos são diferentes	Wilcoxon

Fonte: o próprio autor.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa JASP 18.1.0.

5 RESULTADOS

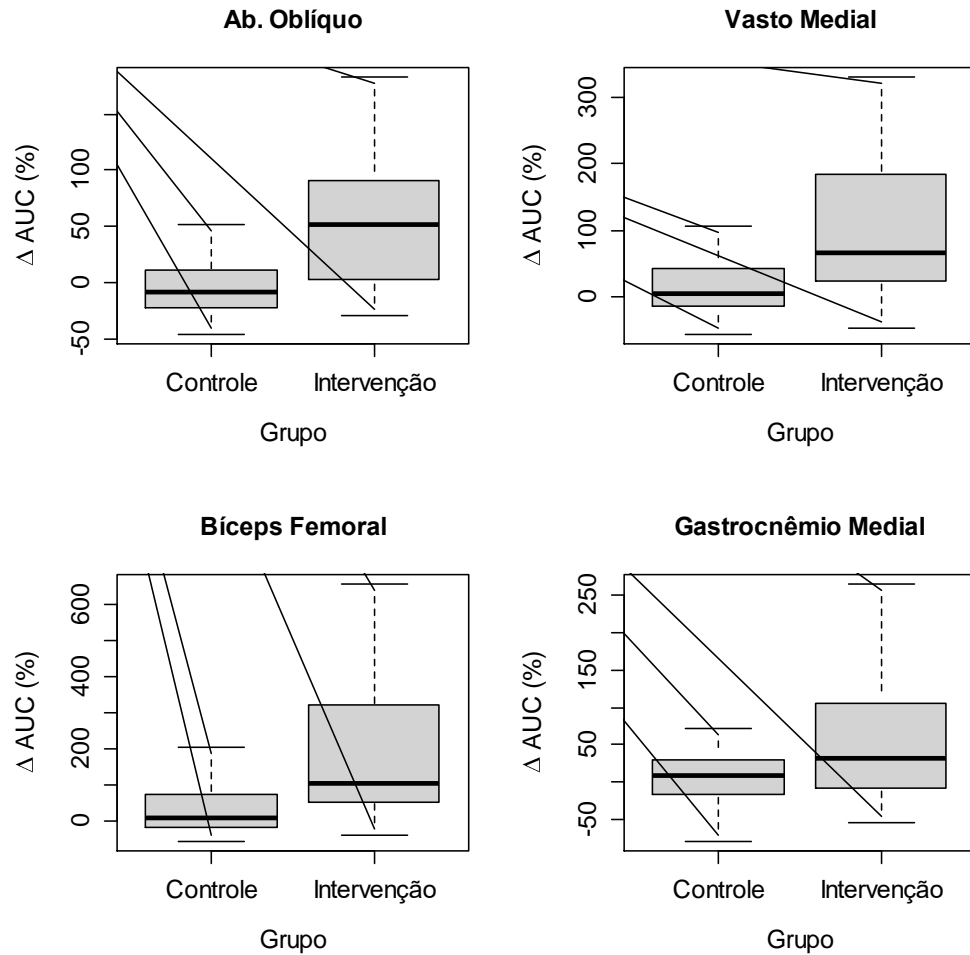
Conforme explicado acima, durante as nossas pesquisas os pilotos realizaram a AGSM, composta pelo componente respiratório e contração isométrica sustentada dos grupamentos musculares de interesse durante 30 segundos, em dois momentos (duas tentativas), sendo o grupo controle sem feedback durante o intervalo de recuperação, enquanto o grupo intervenção teria acesso visual ao traçado bruto do sinal de EMG da 1ª tentativa além de vivenciarem o *biofeedback* em tempo real, quando receberam dicas para melhorar as estratégias de ativação muscular.

A Figura 20 mostra a comparação entre grupo controle e grupo intervenção para o parâmetro ΔAUC , para cada músculo avaliado durante a AGSM. Pode-se ver uma variação positiva mais nítida no grupo intervenção, sugerindo que os feedbacks aplicados podem ter surtido efeito positivo no recrutamento das fibras musculares.

A Tabela 3 mostra os valores de mediana de ΔAUC para os grupos controle e intervenção, além dos valores de p para cada teste de Mann Whitney. Os p -valores confirmam a hipótese alternativa (H_1) de que os grupos, controle e intervenção, são diferentes entre si, para todos os músculos analisados. A tabela, ainda corrobora com os gráficos e quantifica como a variação de ΔAUC foi consideravelmente maior no grupo intervenção. Nota-se que nos músculos da coxa, ou seja, no vasto medial e bíceps femoral, os voluntários do grupo intervenção, tiveram um aumento de ΔAUC de aproximadamente de 14 vezes a mais que o grupo controle. Além disso, o músculo oblíquo do abdome, foi o único que mostrou uma redução do seu recrutamento muscular no grupo controle. No grupo intervenção o mesmo grupo muscular aumentou em 50% os valores de ΔAUC , indicando uma inversão na tendência de queda do uso da musculatura do tronco vista no grupo controle.

Os resultados de AUC_{0-15} x AUC_{15-30} , para ambos os grupos e para todos os músculos indicam que não há diferença no recrutamento muscular nas duas metades da AGSM. As **Tabela 4** e **Tabela 5** mostram os valores das medianas de cada trecho (0-15s e 15-30s) e de p , para ambos os grupos. Pode-se observar que há a confirmação da hipótese nula (H_0) de que não há diferença entre os grupos testados. O Anexo V contém os boxplots que ilustram os dados de cada músculo, em cada trecho, para ambos os grupos.

Figura 20 – Boxplot da variação da AUC (ΔAUC) de cada músculo dos grupos Controle e Intervenção.



Fonte: o próprio autor.

Tabela 3 – Medianas de ΔAUC de cada músculo, nos dois grupos, e o p-valor do teste estatístico.

Músculo	Mediana Controle	Mediana Intervenção	Teste Mann Whitney
Ab. Oblíquo	-7,79	51,65***	p = 0,00001
Vasto Medial	4,73	67,12***	p = 0,00015
Bíceps Femoral	7,48	105,95***	p = 0,0000048
Gastrocnêmio Medial	9,04	32,36*	p = 0,027

*** p < 0,001, * p < 0,05

Tabela 4 - Medianas de AUC de cada músculo, nos dois trechos, e o p-valor do teste estatístico, para o grupo controle.

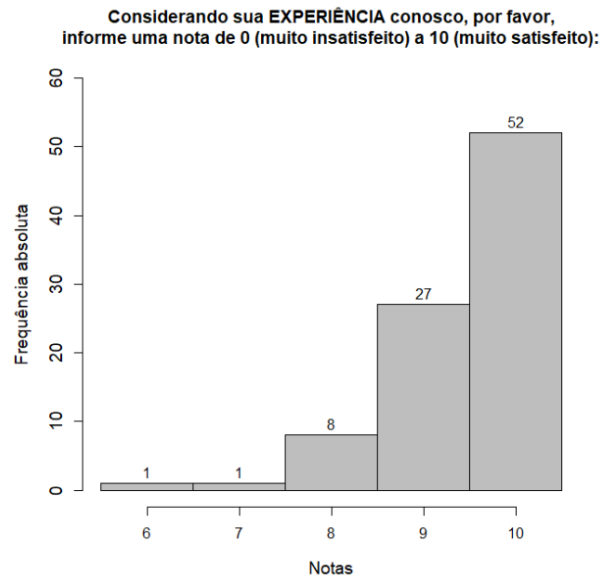
Músculo	Mediana 0-15s	Mediana 15-30s	Teste Wilcoxon
Ab. Oblíquo	399,23	434,22	p = 0,81
Vasto Medial	465,10	515,58	p = 0,66
Bíceps Femoral	335,54	432,40	p = 0,36
Gastrocnêmio Medial	718,30	667,07	p= 0,25

Tabela 5 – Medianas de AUC de cada músculo, nos dois trechos, e o p-valor do teste estatístico, para o grupo intervenção.

Músculo	Mediana 0-15s	Mediana 15-30	Teste Wilcoxon
Ab. Oblíquo	401,01	420,61	p = 0,47
Vasto Medial	618,03	539,28	p = 0,67
Bíceps Femoral	701,15	730,72	p = 0,59
Gastrocnêmio Medial	814,37	800,17	p= 0,82

Como resultado das respostas do NPS, obtivemos os gráficos contidos nas figuras 24 e 25 respectivamente, que ilustram como o programa foi bem aceito pelos voluntários, uma vez que os mesmos, mostraram um alto índice de satisfação. Maioria absoluta das notas foram concentradas entre 9 e 10. Além disso, a maioria absoluta dos voluntários (98,9%) teve a percepção de que a utilização da técnica de EMG é necessária como ferramenta para o treinamento da AGSM. Nota-se que mesmo os participantes do grupo controle tiveram uma impressão positiva da técnica.

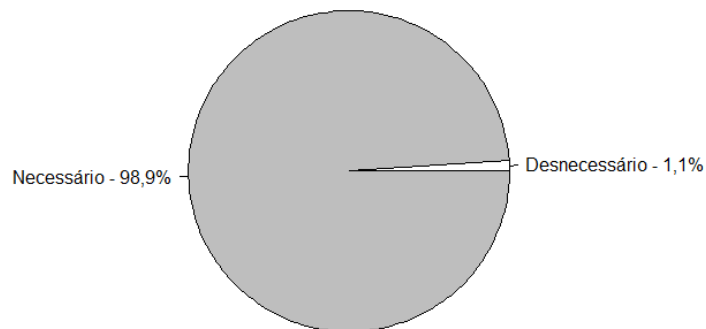
Figura 21 – Gráfico com as notas das avaliações dos voluntários.



Fonte: o próprio autor.

Figura 22 – Gráfico com as respostas dos voluntários quanto a necessidade do *biofeedback* com EMG.

Você considera a simulação da **AGSM** com o **biofeedback** de sinais eletromiográficos necessária ou desnecessária, quando comparada à condição realizada sem **biofeedback**?



Fonte: o próprio autor.

6 DISCUSSÃO

6.1 FEEDBACKS DE EMG

O estudo experimental proposto, teve como objetivo de avaliar o impacto da eletromiografia de superfície (sEMG) no ensino da AGSM em cadetes da Força Aérea Brasileira. Desta forma, foi realizada a monitorização da atividade muscular dos alunos durante a AGSM, tendo sido constituído aleatoriamente um grupo intervenção e um grupo controle. O grupo intervenção, durante a fase de repouso de três minutos entre a primeira e segunda tentativa, recebeu um *feedback* por meio da visualização do sinal de EMG da primeira tentativa, recebendo do instrutor uma orientação qualitativa da execução da AGSM. Este grupo também teve acesso ao *biofeedback* em tempo real, a partir dos quais foi possível realizar correções imediatas e sugerir estratégias para melhor ativação muscular. O grupo controle, por sua vez não teve acesso aos *feedbacks* e, conseqüentemente, não receberam as correções ou orientações, por parte do instrutor.

Com os resultados preliminares obtidos a partir da análise de uma pequena amostra, exclusivamente dos sinais do gastrocnêmico, percebemos maior ΔAUC no grupo intervenção quando comparadas com o grupo controle, reforçando a nossa proposição de que a utilização do *biofeedback* da EMG poderia aperfeiçoar o processo de ensino e treinamento da AGSM (resultados preliminares encontram-se no anexo V).

No segundo momento, a amostra evoluiu para 37 cadetes no grupo controle e 42 cadetes no grupo intervenção, e adicionalmente, voltamos nossa atenção para mais músculos (Obliquo abdominal, Vasto Medial, Bíceps Femoral e Gastrocnêmio medial), envolvidos na AGSM. Com os dados coletados e processados foi realizado o Teste de Shapiro-Wilk, que indicou uma distribuição não normal para a amostra e, por isso, optou-se por utilizar os testes de Mann Whitney e Wilcoxon. O teste evidenciou diferença com significância estatística entre ΔAUC de todos os músculos no grupo intervenção quando comparado ao grupo controle.

O parâmetro ΔAUC refere-se à variação de AUC entre a primeira e segunda tentativa de AGSM. Por sua vez podemos considerar que AUC é um parâmetro diretamente associado ao recrutamento de fibras musculares uma vez que o aumento da AUC se dá pelo aumento dos valores RMS calculados e o RMS é um parâmetro de amplitude de EMG diretamente ligado ao recrutamento de unidades motoras (MERLETTI & FARINA, 2016).

A partir desses resultados entende-se que as ações de feedback proporcionadas ao grupo intervenção foram fundamentais para uma melhora da qualidade da AGSM. O primeiro feedback que consistiu na análise do sinal de EMG da 1ª tentativa de AGSM permitiu ao voluntário perceber quais músculos não estavam atuando da forma esperada e geralmente via-se correções desses erros gerando um provável o aumento de unidades motoras recrutada e consequentemente, dos valores *RMS* e de ΔAUC . Ainda, estudos prévios corroboram com o fato de o *feedback* potencialmente, aumentar ou melhorar, o recrutamento de unidades motoras quando há repetição de uma tarefa pós *feedback* (KIEFER *et al*, 2015).

O *biofeedback* em tempo real proporcionado pela EMG, por sua vez, tem um grande potencial de ajustar tarefas motoras de forma quase instantânea (LUCCA; RECCHIUTI, 1983). Sendo assim, o uso dessa ferramenta, pode ter contribuído para o amadurecimento rápido da consciência corporal, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de recrutamento muscular, culminando em ativação de maior número de unidades motoras. Então, assim como o feedback da 1ª tentativa de AGSM, o *biofeedback* em tempo real também corrobora para um aumento no recrutamento de unidades motoras, no valor *RMS* e ΔAUC .

Portanto, o protocolo experimental do grupo intervenção mostrou-se positivo para melhorar a qualidade da AGSM. Neste sentido, este estudo propõe um protocolo de treinamento descrito desde a fase de instrumentação até o treinamento propriamente dito, no anexo I.

6.2 QUALIDADE DA AGSM NO DECORRER DO TEMPO

Considerando que em um voo real o tempo de AGSM não deve ultrapassar 15 segundos e ainda, que o próprio protocolo de treinamento em Centrífuga Humana na Suécia (SAAB, 2021), prevê que o piloto sustente 9G por 15s, entende-se que é importante que o piloto exerça uma AGSM de qualidade desde o início da manobra. Portanto o estudo procurou investigar se havia diferenças significativas no recrutamento muscular ao comparar a primeira metade com a segunda metade de execução da AGSM.

Os resultados indicam que durante os 30 segundos de manobra, os voluntários mantiveram o padrão de recrutamento muscular. É importante ressaltar que o tempo de 30 segundo foi pensado para o treinamento dos pilotos justamente para que os pilotos treinem por um tempo acima do necessário em uma situação real. Uma vez que os pilotos da FAB não têm acesso à centrífuga humana para treinamento, o tempo de execução de AGSM foi um meio pensado para aumentar a sobrecarga do treinamento.

Outro ponto importante é que a AGSM é uma manobra que evita o acúmulo de sangue nos membros inferiores o que é diferente de reverter uma situação em que o haja um grande acúmulo de sangue nas extremidades do corpo. Sob este ponto de vista, pode-se entender que a AGSM deve ser executada antes que a sobrecarga de +Gz seja imposta ao piloto. Logo, é de grande importância que a AGSM seja executada desde o seu início com a maior excelência possível, evitando o gasto energético para uma ação que pode não responder à sobrecarga +Gz muito intensa.

6.3 NPS

Durante a coleta de dados, ainda no ambiente de treinamento, foi muito frequente ouvir dos alunos do grupo intervenção como eles compreenderam melhor a ação muscular (contração) durante visualização na tela em tempo real dos sinais de EMG correspondentes a cada músculo envolvido. Além disso, percebemos grande adesão, interesse e motivação por parte dos alunos, e por isso, decidiu-se utilizar o NPS para verificar a percepção dos cadetes sobre a qualidade e importância da utilização da EMG como ferramenta de treinamento da AGSM. Os resultados no NPS foram muito positivos, com altos graus de satisfação e ampla recomendação dos voluntários para utilização da técnica de EMG no processo de treinamento.

O NPS é uma ferramenta de gestão empresarial que está se consolidando no IMAE, conforme descrito no estudo de Guimarães e colaboradores (2023). A partir do questionário pode-se verificar que os próprios cadetes enxergaram a técnica de EMG como essencial no processo de treinamento. Além disso, o grau de satisfação, está diretamente ligado à motivação que o piloto pode apresentar em realizar o treinamento. Ao passar uma série de informações sobre a componente muscular da AGSM que antes não era possível de ter acesso, os pilotos podem se sentir estimulados e melhorar o processo de treinamento.

6.4 PRODUTOS

Como este estudo faz parte do processo de formação de mestrado profissional, é fundamental que das diversas informações e aprendizados adquiridos durante o estudo sejam gerados produtos que melhorem o desempenho do recurso humano operacional da FAB. Neste contexto, este estudo propõe, até o momento quatro produtos que podem ser de grande importância no âmbito da FAB. Estes produtos são:

- Protocolo de treinamento para o EAF (Anexo I) – Este produto consiste na proposta de treinamento prático da AGSM, a ser implementada na rotina do Estágio de Adaptação Fisiológica dos pilotos de caça e cadetes.
- Localização dos ventres, preparação da superfície cutânea e posicionamento dos eletrodos (Anexo II) – Este produto consiste no protocolo para instrumentalizar os pilotos e cadetes com o sistema de eletromiografia.
- Material didático para curso de AGSM (Anexo III) – Diante da eminência da realização do 1º Curso de AGSM, destinado aos médicos de esquadrões, este projeto elaborou uma revisão narrativa para ser utilizada como material didático do referido curso.
- Minuta de alteração da ICA (Anexo IV) – Para implementação regulamentar do treinamento prático de AGSM, se faz necessário ajustes na legislação do Estágio de Treinamento Fisiológico. Desta forma, o treinamento ganha ares de ação institucional do IMAE

7 CONCLUSÃO

Conhecendo a fragilidade fisiológica do corpo humano frente às acelerações +G e seus impactos negativos (limitações operacionais e de segurança de voo), e ainda, considerando a importância inquestionável da AGSM como principal contramedida, este estudo teve como objetivo propor o uso da técnica de EMG no treinamento de AGSM, mostrando a sua eficácia durante uma instrução da referida manobra. Os resultados corroboram com a hipótese de que o uso da EMG pode ser um diferencial importante para aumentar a qualidade da execução da componente muscular da AGSM. Viu-se que o recrutamento muscular pode melhorar consideravelmente ao utilizar-se a EMG como ferramenta de *biofeedback*, gerando informações importantes e consistentes ao piloto, que podem impactar diretamente na qualidade da manobra e, por consequência, na eficácia operacional do piloto, no aumento da segurança de voo e no impacto econômico para a FAB

Mesmo apresentando resultados positivos, ainda existem perguntas a serem estudadas quando falamos da associação de treinamento da AGSM e EMG. Alguns exemplos são:

Como avaliar a componente respiratória?

Quais músculos exercem mais influência na AGSM?

Qual a intensidade de força (% da CVM), é necessária para suportar as altas sobrecargas de +Gz?

Quais parâmetros clínicos e de EMG podem ser associados à melhor qualidade da AGSM

Portanto, conclui-se que a EMG deve ser empregada de forma imediata na rotina do EAF para treinamento prático de AGSM, contudo, os estudos acerca do assunto devem ser continuados para responder lacunas ainda existentes.

REFERÊNCIAS

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH AND DEVELOPMENT. **Man at High Sustained +Gz Acceleration** (AGARDograph No. 190). Neuilly-sur-Seine (1974): AGARD/NATO.

ADVISORY GROUP FOR AEROSPACE RESEARCH AND DEVELOPMENT AMP Lecture Series 202 (AGARD LS-202). **Current Concepts on G-Protection Research and Development**. Neuilly-sur-Seine (1995). AGARD/NATO.

ALMEIDA, C. A. P. **Investigação de Parâmetros Espectrais do EMG aplicáveis à terapia de Biofeedback**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Biomédica, URFJ, Rio de Janeiro, 2010.

ALVIM, K. **Greyout, blackout, and G-loss of consciousness in the Brazilian Air Force: Aviation, Space, and Environmental Medicine**. Alexandria, v. 66, n.7, p.675-677, 1995.

AMP Working Group 14. (1990). **High G physiological protection training** (AGARDograph No. 322). Neuilly-sur-Seine: AGARD/NATO.

AZEVEDO, I. G. **Normalização de eletromiografia de superfície dos músculos respiratórios em sujeitos saudáveis: contração voluntária máxima isométrica versus pressões respiratórias máximas**. 2015. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia, UFRN, Rio Grande do Norte, 2015.

BAIN, B.; JACOBS, I.; BUICK, F. **Respiratory muscle fatigue during simulated air combat maneuvering (SACM)**. Aviat Space Environ Med 1997; 68:118–25.

BASMAJIAN, J.; DE LUCA C. **Muscles alive: their functions revealed by electromyography**. Williams and Wilkins, Baltimore, 1985.

BRASIL. Comando da Aeronautica. Comando Geral de Pessoal. Portaria N° 2.312-T/DCP, de 16 de outubro de 2017. Aprova a reedição do Currículo Mínimo do Estágio de Adaptação Fisiológica (EAF), ICA 37-650. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 182, de 24 de outubro de 2017.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília: MD, 2012.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Livro Branco de Defesa Nacional**. Brasília: MD, 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa. **Força Aérea Brasileira**. FAB incorpora primeiros F-39 Gripen à frota do Esquadrão Jaguar. FAB, 20, dez. 2022. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/40191>. Acesso em: 20, fev. 2023.

CARR, J.; SHEPHERD, R. **Ciência do movimento: Fundamentos Para A Fisioterapia na Reabilitação**. Segunda Edição. São Paulo: Manole, 2003.

CHEN, H.H.; WU, Y.C.; KUO, M.D. **An electromyographic assessment of the anti-G straining maneuver.** *Aviation, space, and environmental medicine.* Alexandria, v. 75, n. 2, p. 162-167, 2004.

CHOI, B. *et al.*; **Detection of G-Induced Loss of Consciousness (G-LOC) prognosis through EMG monitoring on gastrocnemius muscle in flight.** Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Milan, Annual International Conference, v.1, p. 7007–7010, 2015.

COHEN, I.; BRINKMAN, W.; NEERINCX, M. **Effects of different real-time feedback types on human performance in high-demanding work conditions.** *International Journal of Human-Computer Studies*, [s.l.], v. 91, p. 1–12, 2016. ISSN: 1071-5819, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2016.03.007>.

CORNWALL M.; KROCK, L. **Electromyographic activity while performing the anti-G straining maneuver during high sustained acceleration.** *Aviat Space Environ Med.* 1992 Nov;63(11):971-5. PMID: 1445161.

CRISWELL, E. **Cram's Introduction to Surface Electromyography.** 2ª Edição. Canada: Jones & Bartlett Learning, 2010.

DAVID, J. R.; DAVID P. G. **Ernsting's aviation medicine.** London: Edward Arnold, 2006.

DAVIS, J. *et al.*; **Fundamentals of aerospace medicine.** Philadelphia: Wolters Kluwer, 2012.

DE LUCA, C.J. **Myoelectric manifestations of localized muscular fatigue.** *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering.* v.11, n.25, p. 1-279, 1984.

DE LUCA, C. J. **The Use of Surface Electromyography in Biomechanics.** *Journal of Applied Biomechanics* 13 (1997): 135-163.

DE LUCA, C. J.; ERIM, Z. **Common drive of motor units in regulation of muscle force.** **Trends Neurosci.** 1994 Jul;17(7):299-305. doi: 10.1016/0166-2236(94)90064-7. PMID: 7524216.

DURSUN, N.; DURSUN, E.; KILIÇ, Z. **Electromyographic biofeedback-controlled exercise versus conservative care for patellofemoral pain syndrome.** *Arch Phys Med Rehabil.* 2001 Dec;82(12):1692-5. doi: 10.1053/apmr.2001.26253. PMID: 11733884.

EIKEN *et al.*; **G protection: Interaction of straining maneuvers and positive pressure breathing.** *Aviation Space and Environmental Medicine.* Alexandria, v.78, n.4, p.392–398, 2007.

FARINA, D.; MERLETTI, R. **Comparison of algorithms for estimation of EMG variables during voluntary isometric contractions.** *J Electromyogr Kinesiol.* 2000 Oct;10(5):337-49.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Acceleration in aviation: G-Force.** Oklahoma, 2022. Disponível em:

<https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/pilots/safety/pilotsafetybrochures/Acceleration.pdf>. Acesso em 07 mar 2023.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. **Introduction to aviation physiology**. Oklahoma, [2021]. Disponível em: https://www.faa.gov/pilots/training/airman_education/media/IntroAviationPhys.pdf. Acesso em 07 mar 2023.

FERNANDES, L. *et al.*; **Muscle activity in pilots with and without pressure breathing during acceleration**. *Aviation Space and Environmental Medicine*. Alexandria, v. 74, no 6, p. 626-632, 2003.

GARCIA-HERNANDEZ, N. *et al.*; **Development of an EMG-based exergaming system for isometric muscle training and its effectiveness to enhance motivation, performance and muscle strength**. *International Journal of Human-Computer Studies*, [s.l.], v. 124, p. 44–55, 2019. ISSN: 1071-5819, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.11.010>.

GUIMARAES, T. T. *et al.*; **Net Promoter Score como ferramenta de avaliação e controle de qualidade dos cursos e instruções do Instituto de Medicina Aeroespacial**. *REVISTA DA UNIFA, Brasil*, v. 36, p. 1-15, 2023.

HABAZETTL, H. *et al.*; **Microvascular responses to (hyper-)gravitational stress by short-arm human centrifuge: arteriolar vasoconstriction and venous pooling**. *European Journal of Applied Physiology*. Switzerland, v.116, n.1, p. 57-65, 2016.

HERMENS, H. *et al.*; **Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures**. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, [s.l.], v. 10, no 5, p. 361–374, 2000. ISSN: 1050-6411, DOI: [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4).

KIEFER, A. *et al.*; **A Commentary on Real-Time Biofeedback to Augment Neuromuscular Training for ACL Injury Prevention in Adolescent Athletes**. *Journal of sports science & medicine* vol. 14,1 1-8. 1 Mar. 2015.

KIM, S. *et al.*; **G-LOC warning algorithms based on EMG features of the gastrocnemius muscle**. *Aerospace medicine and human performance*. Alexandria, v. 88, n° 8, p. 737-742, 2017.

KOBAYASHI A.; KIKUKAWA A.; ONOZAWA, A. **Effect of muscle tensing on cerebral oxygen status during sustained high Gz**. *Aviation Space and Environmental Medicine*. Alexandria, v.73, n.6, p. 597–600, 2002.

KUMAR, A.; NATARAJA, M. S.; SHARMA, V. **Analysis of G-induced loss of consciousness (G-LOC) and almost loss of consciousness (A-LOC) incidences in high-performance human centrifuge at Institute of Aerospace Medicine Indian Air Force**. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. Bangalore, v. 63, n° 2, p. 53-60, 2019.

LUCCA, J.; RECCHIUTI, S. **Effect of Electromyographic Biofeedback on an Isometric Strengthening Program**. *Physical Therapy*, [s.l.], v. 63, no 2, p. 200 LP – 203, 1983.

- LYONS, T.J. *et al.*; **Assessment of the anti-G straining maneuver (AGSM) skill performance and reinforcement program.** *Aviat Space Environ Med.* 1997 Apr;68(4):322-4. PMID: 9096829.
- MERLETTI, R.; FARINA, D. **Surface Electromyography: Physiology, Engineering and Applications.** Piscataway, 2016.
- NG G.; ZHANG A.; LI, C. **Biofeedback exercise improved the EMG activity ratio of the medial and lateral vasti muscles in subjects with patellofemoral pain syndrome.** *J Electromyogr Kinesiol.* 2008 Feb;18(1):128-33. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.08.010. Epub 2006 Oct 27. PMID: 17070701.
- PAPE, Robert A. **Bombing to Win: Air Power and Coercion in War.** 1st ed., Cornell University Press, 1996. JSTOR.
- RAEZ, M.; HUSSAIN, M.; MOHD-YASIN, F. **Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification and applications.** *Biol Proced Online.* 2006;8:11-35. doi: 10.1251/bpo115. Epub 2006 Mar 23. Erratum in: *Biol Proced Online.* 2006;8:163. PMID: 16799694; PMCID: PMC1455479.
- REICHHELD, F.F. **The one number you need to grow.** *Harv Bus Rev.* 2003 Dec;81(12):46-54, 124. PMID: 14712543.
- RICCIOTTI, A.C. D. **Utilização de Wavelets no Processamento de Sinais EMG.** 2006. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.
- SAAB. **Piloto da FAB realiza treinamento intenso para voar o Gripen Brasileiro.** Estocolmo, 5, abril. 2021. Disponível em: <https://www.saab.com/pt-br/markets/brasil/historias/2021/piloto-da-fab-realiza-treinamento-intenso-para-voar-o-gripen-brasileiro>. Acesso em: 13, junho 2024.
- SAAB. **Programa Gripen Brasileiro.** Estocolmo, 10, maio. 2022. Disponível em: <https://www.saab.com/pt-br/markets/brasil/gripen-para-o-brasil/programa-gripen-brasileiro>. Acesso em: 20, fev. 2023.
- SAH, I.; M.S., NATARAJA.; RASTOGI, P. **Quantified muscular contraction during AGSM and its correlation with straining + Gz Tolerance.** *Indian Journal of Aerospace Medicine.* Bangalore, v.62, n.2, p. 11–15, 2018.
- SITARAM, R. *et al*; **Closed-loop brain training: The science of neurofeedback.** *Nat. Rev. Neurosci.* 18, 86–100 (2017).
- SLUNGAARD E. *et al*; **Aircrew conditioning programme impact on +Gz tolerance.** *Aerospace medicine and human performance.* Alexandria, v. 90, n.9, p. 764-773, 2019.
- TEMPORAL, W. *et al.* **Medicina aeroespacial.** Rio de Janeiro: Luzes, Comunicação, Arte & Cultura, 2005.

TU, M. *et al.*; **Combined effect of heart rate responses and the anti-G straining manoeuvre effectiveness on G tolerance in a human centrifuge.** Scientific Reports, London, v. 10, n. 1, p. 1-8, 2020.

VERMA, A. *et al.*; **Skeletal muscle pump drives control of cardiovascular and postural systems.** Scientific Reports, London, v. 7, n. 45301, p. 1-8, 2017.

YIP, S.; NG, G. **Biofeedback supplementation to physiotherapy exercise programme for rehabilitation of patellofemoral pain syndrome: a randomized controlled pilot study.** Clin Rehabil. 2006 Dec;20(12):1050-7. doi: 10.1177/0269215506071259. PMID: 17148516.

YUN, C.; OH, S.; SHIN, Y. **AGSM proficiency and depression are associated with success of high-G training in trainee pilots.** Aerospace Medicine and Human Performance. Alexandria, v.90, n.7, p. 613-617, 2019.

ANEXO I – Protocolo de treinamento prático de AGSM

Segundo a ICA 37-650 de 2017, o Estágio de Adaptação Fisiológica (EAF) tem por objetivo proporcionar aos aeronavegantes e paraquedistas (PQDT), militares e civis, conhecimento sobre os problemas fisiológicos decorrentes da atividade aérea, bem como sobre os procedimentos a serem adotados e o uso dos equipamentos de apoio vital ao tripulante, no exercício da referida atividade.

Na Força Aérea Brasileira, se propõe a realização do EAF para os cadetes durante a sua formação e posteriormente em intervalos de 5 anos. Visando contemplar as especificidades de cada tipo de aviação, dispomos de perfis customizados, sendo eles: Caça, Transporte, Helicóptero e Paraquedismo, em comum, todos eles contêm instruções teóricas e oficinas sobre hipóxia, inclusive com voo simulado em camara hipobárica, visão noturna e desorientação espacial. Contudo, para o público que opera em altas cargas acelerativas (caça) são acrescentados: oficina em torre de ejeção e instrução sobre acelerações.

Sobre as acelerações sustentadas, inicialmente os alunos assistirão à uma aula teórica (expositiva) de aproximadamente 50 minutos, abordando os aspectos físicos e os respectivos impactos fisiológicos das acelerações, contemplando ainda as ferramentas de contramedida disponíveis, com especial enfoque na Anti-G Straining Maneuver (AGSM).



Será apresentado o passo-a-passo da execução da manobra, sendo orientado:

- a postura na cadeira;
- quais grupamentos musculares devem ser contraídos;

- quais devem permanecer relaxados;
- como proceder a preparação para a respiração;
- a cadência respiratória e; a realização da pressão expiratória através do fechamento da glote.

Para ilustração e melhor entendimento da manobra, serão utilizados vídeos de treinamentos realizados em Centrifuga Humana (CH), apresentando pilotos que foram bem sucedidos e pilotos que sofreram G-LOC. Ainda com o objetivo de ilustração, o instrutor poderá com o auxílio de um voluntário realizar uma demonstração, e na sequência todos os alunos terão a oportunidade de realizar a técnica, sendo corrigidos em tempo real pelo instrutor.



A fim de aprimorar o treinamento de AGSM, será utilizado um cockpit de aeronave de alta performance adaptada para instrução, acrescido da Eletromiografia de superfície (sEMG) como instrumento de avaliação da contração isométrica dos grupamentos musculares de interesse, sendo eles:

- obliquo abdominal;
- vasto medial;
- bíceps femoral e;
- gastrocnêmio medial.

Essa estratégia fornece metodologia de avaliação objetiva e qualitativa da técnica realizada, além de permitir através do *biofeedback* (visual/online e verbal) a correção dos erros

de execução, maior motivação dos alunos, melhora das estratégias de aprendizado motor e consequentemente maior recrutamento muscular, culminando em melhor tolerância dos pilotos frente às acelerações +Gz.

Paralelamente, poderão ser realizadas gravações de vídeos dos alunos para utilização no *debriefing* entre as series e ao final do treinamento.

ETAPAS:

Fase 1 - Aula expositiva sobre AGSM (power-point) com utilização de vídeos de pilotos submetidos à treinamento em Centrifuga Humana;

Fase 2 – Demonstração da manobra Anti-G;

Fase 3 – Preparação da superfície cutânea (tricotomia e limpeza com álcool 70%) conforme orientações abaixo;

Fase 4 – Marcação dos pontos nos grupamentos musculares de interesse conforme orientações abaixo;

Fase 5 – Aplicar adesivo ao receptor;

Fase 6 – Instalação dos eletrodos (ECG) e cabos nos pontos previamente marcados;

Fase 7 – Colocar Receptor da EMG (Noraxon);

Fase 8 – Orientar os instruendos a realizarem contrações individualizadas dos músculos monitorizados com visualização do traçado eletromiográfico na tela, sugerindo estratégias de recrutamento muscular;

Fase 9 – Realizar duas series de AGSM (contração isométrica e técnica de respiração) com *biofeedback* (EMG) durante 30 segundos com intervalos de 3 minutos;

Fase 10 – *Debriefing* individual após cada serie e após conclusão do treinamento;

Fase 11 – *Debriefing* coletivo (NPS).

ANEXO II – Localização dos ventres, preparação da superfície cutânea e posicionamento de eletrodos.

PREPARAÇÃO DA PELE:

- Localizar o ventre muscular;
- Realizar tricotomia na topografia de interesse;
- Limpeza com álcool 70%;
- Após secar a pele aderir os eletrodos na localização desejada;
- Instalar sensor próximo aos eletrodos com fita dupla face;
- Conectar cabos; e
- Testar a comunicação entre os sensores e o receptor dos sinal.



POSICIONAMENTO:

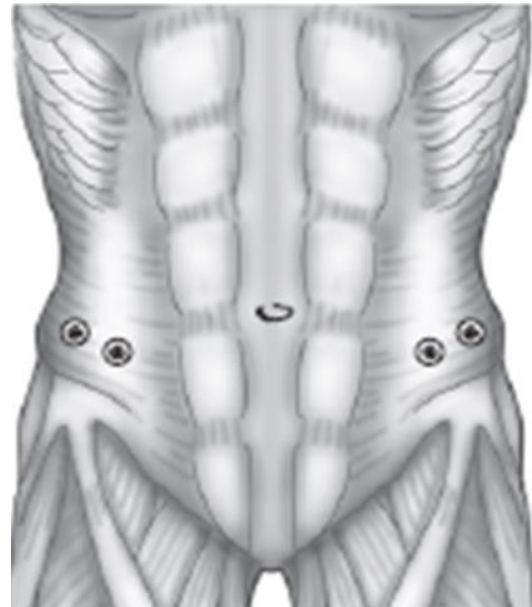
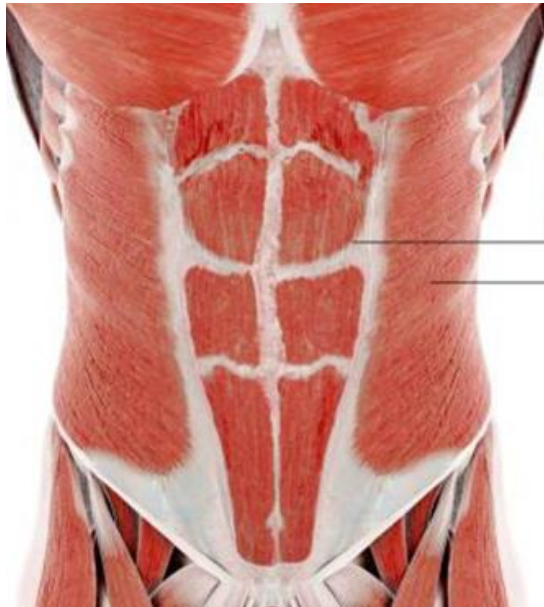
- Dois eletrodos bipolar (ECG);
- Posicionar no Ventre muscular;
- Manter 20 mm de distância entre os centros dos eletrodos;
- Paralelos a penetração das fibras musculares;
- Aplicar adesivos dupla face aos receptores;
- Posicionar os receptores próximo aos eletrodos;
- Conectar os cabos dos receptores aos eletrodos; e
- Verificar a qualidade do sinal na tela solicitando que o aluno execute as contrações de cada musculo individualmente.



LOCALIZAÇÃO DOS VENTRES MUSCULARES

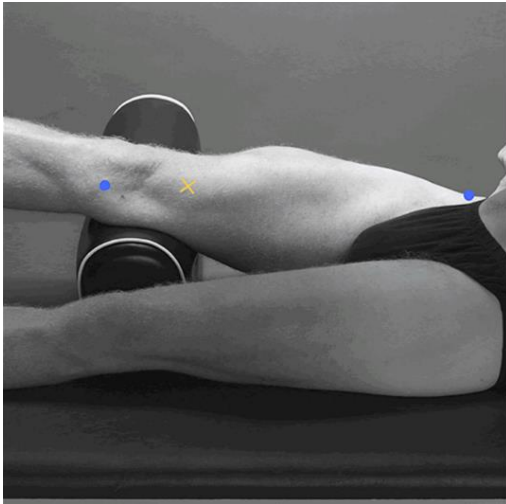
Obliquo abdominal:

- Lateral ao reto abdominal, entre a crista ilíaca e as costelas inferiores, em um ângulo ligeiramente oblíquo, paralelamente às fibras musculares.



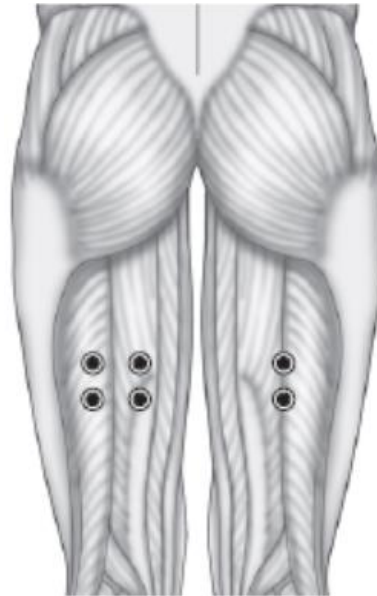
Vasto medial:

– Os eletrodos serão instalados distais na linha entre a espinha íliaca e o espaço articular em frente à borda anterior do ligamento medial, cerca de 80%, com orientação quase perpendicular. Pode ser testado realizando extensão do joelho.



Biceps femoral:

- Os eletrodos serão colocados no meio da linha (50%) entre a tuberosidade isquiática e o epicôndilo lateral da tibia, orientados longitudinalmente à linha. Pode ser testado através flexão do joelho.



Gastrocnêmio medial:

- Os eletrodos serão posicionados na protuberância mais evidente do músculo, no sentido longitudinal. Pode ser testado através flexão plantar com a intenção de puxar o calcanhar para cima.

**REFERÊNCIAS**

ICA 37-650 de 2017

SENIAN

CRAM'S : Introduction to Surface Electromyography

PIRES, P. J. 2024

ANEXO III – Material didático para o curso de AGSM: Revisão narrativa ANTI-G STRAINING MANEUVER (AGSM): UMA REVISÃO NARRATIVA

Resumo

Background: Vetores aéreos cada vez mais valiosos, sofisticados e poderosos são desenvolvidos e incorporados às forças aéreas do mundo. O avanço tecnológico é notório, aumentando a sobrecarga fisiológica durante o voo, tornando o recurso humano, cada vez mais, o fator limitante em tais operações. A compreensão das demandas fisiológicas enfrentadas por pilotos de aeronaves, especialmente as de combate, faz-se ainda mais necessária. **Objetivo:** Apresentar as consequências fisiológicas das forças acelerativas, mostrar a eficiência da *Anti-G Straining Maneuver* (AGSM) como contramedida e o estado da arte sobre a utilização da eletromiografia (EMG) no contexto da AGSM. **Discussão:** É consenso na literatura que a AGSM é a contramedida mais eficaz para prevenir o *G-force induced loss of consciousness* (G-LOC). A EMG é uma ferramenta acessível e útil para o treinamento da AGSM, especialmente em locais onde não há disponibilidade de centrífugas humanas. **Limitações:** Ainda assim, embora a EMG tenha potencial para fornecer insights valiosos, a literatura atual sobre sua aplicação no contexto da AGSM é limitada, apresentando uma diversidade de objetivos e parâmetros analisados. **Contribuição:** Seu uso como *biofeedback* em tempo real pode aprimorar as habilidades de controle muscular durante a AGSM.

Palavras-chave: AGSM, Aviação, Aceleração, EMG, Fisiologia, G-LOC.

Introdução

Os seres humanos são essencialmente terrestres e quando submetidos a intensas cargas gravitacionais, conhecidas como carga G, o corpo pode não conseguir se adaptar integralmente (1). O voo de caça (ou de combate) representa um dos ambientes mais desafiadores para os pilotos, uma vez que são caracterizados por manobras rápidas, curvas apertadas e mudanças bruscas de direção, exigindo não somente destreza destes, mas também adaptações fisiológicas adequadas (1). Pode-se dizer que quanto mais rápidos forem os vetores, maiores serão as demandas fisiológicas, o que indica que as limitações fisiológicas do corpo humano são um importante fator restritivo à atividade aérea (1).

Nesse contexto, vetores aéreos cada vez mais valiosos, sofisticados e poderosos são desenvolvidos e incorporados às forças aéreas do mundo e, por isso, faz-se necessário utilizar recursos como suplementação de oxigênio, pressurização de cabine, emprego de trajés anti-G, sistemas de respiração com pressão positiva, além da realização de treinamentos e estágios de adaptação fisiológicos para que os aeronavegantes possam entender as suas limitações e, conseqüentemente, elevar o desempenho operacional humano, melhorando a eficiência e a segurança de voo (2).

Nesse cenário da modernização das aeronaves de combate, o avanço tecnológico vem aumentando a demanda fisiológica durante o voo, tornando o recurso humano cada vez mais o fator limitante da operacionalidade do vetor. Portanto, um recurso humano mal treinado e sem o devido preparo para suportar essas altas demandas fisiológicas pode elevar as taxas de acidentes aeronáuticos e, por consequência, gerar altos impactos econômicos e até mesmo impactos imensuráveis como incapacidades funcionais permanentes e perda de vidas.

As cargas G representam uma das maiores fontes de estresse físico, gerando diversas alterações fisiológicas que podem levar à perda de consciência (*G-force induced loss of consciousness*, em inglês, G-LOC) durante o voo (2). Atualmente, as aeronaves de combate mais modernas conseguem atingir altas cargas G sustentada (até 9 G) e se o piloto não estiver preparado, poderá sofrer o G-LOC (3). Para lidar com as altas sobrecargas gravitacionais, os pilotos devem passar por treinamento rigoroso, sendo o aprendizado da técnica *Anti G Straining Maneuver* (AGSM) mandatório, uma vez que essa é a contramedida mais eficaz para prevenir o G-LOC (4, 5).

Nesse contexto, a eletromiografia de superfície (EMG) surge como técnica de avaliação muscular com potencial para ser uma importante ferramenta para avaliação da AGSM, pois é a única técnica que permite a avaliação muscular concomitantemente à manobra, por meio da

captura de sinais elétricos produzidos pelos músculos (6). Ainda assim, a literatura científica apresenta lacunas importantes quando essa técnica é utilizada no contexto da AGSM. Diante do exposto, o objetivo deste estudo é discutir as consequências fisiológicas das forças acelerativas, mostrar a eficiência da AGSM como contramedida e o estado da arte sobre a utilização da EMG no contexto da AGSM.

Devido à necessidade de mais pesquisas sobre essa temática, os autores optaram por um modelo de revisão narrativa, uma vez que esta permite estimular uma discussão abrangente, sem critérios de inclusão rigorosos. Desta forma, espera-se que a presente revisão possa contextualizar um campo de estudo, bem como identificar as lacunas e sugerir direções futuras de pesquisa. Para esta revisão narrativa, a pesquisa bibliográfica foi realizada na base de dados PubMed usando o termo “anti-G straining maneuver” e seus sinônimos, combinados com o descritor “electromyography” e termos sinônimos, bem como em listas de referência sobre o tema.

Acelerações e fisiologia

Dependendo da modalidade de voo, acelerações e manobras podem estimular a força G, provocando efeitos no corpo nos eixos z, x e y (G_z , G_x e G_y) e, a depender do sentido que a força é aplicada, essas podem ser positivas ou negativas, sendo assim, a aceleração durante o voo é classificada em $+G_z$, $-G_z$, $+G_y$, $-G_y$, $+G_x$, $-G_x$ (7). Quanto maior a intensidade, mais severos são os efeitos da aceleração na fisiologia humana. Embora as acelerações antero-posteriores (G_x) e laterais (G_y) possam ocorrer, elas não desempenham influência tão importante para a fisiologia humana durante o voo de combate, ao contrário das acelerações verticais positivas, ou seja, na presença de G_z (isto é, direção crânio-caudal).

Nas condições de $+G_z$, o sangue tende a migrar e se acumular nos membros inferiores, causando redução do retorno venoso, débito cardíaco e, em última instância, comprometimento do aporte de sangue e, conseqüentemente, de oxigênio para os olhos e cérebro, causando o fenômeno também conhecido como hipóxia estagnante (1).

Por exemplo, durante uma manobra de combate que produza $+G_z$, também representado no presente texto unicamente pela letra G, o peso corporal aumenta proporcionalmente à magnitude da força. Ou seja, um indivíduo de 70 Kg que é submetido a 3 G, tem o seu peso aumentado de 686 N para 2058 N, o equivalente à uma massa corporal de 210 Kg quando submetido à 1G.

Nesse contexto, os membros superiores e inferiores são impedidos de realizar movimentos livres e os órgãos internos são empurrados em direção às costas, fazendo com que o diafragma seja deslocado para baixo, aumentando os distúrbios respiratórios (8). Em um ambiente de 1 G, existe normalmente uma diferença de aproximadamente 25 mmHg de pressão sanguínea entre o coração e o cérebro, por efeito da gravidade sobre a coluna hidrostática normal. Ao expor-se a um ambiente de 5 G, a coluna hidrostática passa a pesar 120 mmHg (5 x 25), o que equivale a deixar o cérebro sem irrigação, a menos que o coração consiga elevar a pressão arterial em 120 mmHg. Em virtude do conceito anterior, para cada G aplicado, produz-se uma diminuição de 22 a 25 mmHg de pressão sanguínea ao nível dos olhos (9).

Em um primeiro estágio, por volta dos 4 G, o piloto perde a visão periférica (visão em túnel), em seguida ocorre a visão acinzentada ou *grayout*, em decorrência da deficiência na perfusão sanguínea para a retina e, por fim, a visão pode desaparecer (*blackout*). Quando as forças alcançam 5 G, a circulação cerebral é afetada e o piloto pode apresentar o quadro conhecido como *almost loss of consciousness* (A-LOC) ou *gravity-induced loss of consciousness* (G-LOC). A resposta fisiológica depende da magnitude da exposição total (ou seja, taxa de início, duração sustentada e magnitude do pico) (10). No entanto, existe um período de amortecimento funcional inicial de aproximadamente 5 segundos dentro do qual o G-LOC não ocorre (10).

O G-LOC é definido como estado de percepção alterado pela ausência de realidade como o resultado de uma repentina e crítica redução da circulação sanguínea cerebral ocasionada pelo aumento da força G. No G-LOC, produz-se um período de inconsciência ou incapacidade absoluta seguida por um período consciente, mas como uma incapacidade relativa, em que podem ocorrer convulsões. Para fins práticos, o tempo total de incapacitação flutua entre 20 a 30 segundos (5).

Se por um lado a perda de consciência é uma condição de grande perigo, por outro, existem medidas de proteção contra os efeitos das cargas G, tais como: a utilização de trajes anti-G, acerto de inclinação dos assentos, que proporciona “redução da distância vertical” entre o coração e a cabeça, assim como a utilização de mecanismos de respiração com pressão positiva. Existem também estratégias com foco no desenvolvimento dos recursos humanos, como programas de condicionamento físico específico e o treinamento de manobras corporais que ampliam a tolerância contra as acelerações G, sendo a AGSM, a principal manobra e o, foco da presente revisão.

Anti-G Straining Maneuver (AGSM)

É consenso na literatura que a AGSM é a contramedida mais eficaz para prevenir o G-LOC (4, 11), podendo conferir um ganho de até 4 G quando bem executada (5). A AGSM é composta por dois componentes que devem ser realizados simultaneamente: o respiratório e o muscular. O componente respiratório é o componente no qual o piloto realiza uma inspiração preparatória e posteriormente controla o ritmo com trocas a cada três segundos e executa a exalação contra a glote ocluída (L1 *maneuver*) ou parcialmente ocluída (M1 *maneuver*). A outra componente é a muscular, em que se realiza a contração isométrica de músculos dos membros inferiores, glúteos e abdome (12). É importante destacar que as ações respiratórias ocorrem simultaneamente às contrações isométricas.

Tanto a M1 quanto a L1 promovem elevação da pressão abdominal e intratorácica por meio da contração do diafragma e músculos respiratórios. Essa pressão é transmitida diretamente para os grandes vasos e o coração, elevando a pressão arterial. Adicionalmente, a contração do diafragma impede o aumento da distância entre o coração e a cabeça (5). No que diz respeito à variação de pressão arterial ocular, as manobras respiratórias (L1 e M1) apresentam efeitos similares, sendo ambas igualmente eficientes, no entanto a L1 tem sido preferida pelos pilotos por causarem menos irritação laríngea (13).

Um estudo de revisão, que compilou 500 episódios de G-LOC, destacou que os sujeitos que realizaram AGSM sustentaram níveis mais elevados de estresse gravitacional (14). É importante destacar que, embora a manobra seja fundamental para prevenir G-LOC, sua eficácia é influenciada por diversos fatores. Alguns estudos relataram que a força muscular parece ser responsável pelo melhor desempenho da AGSM (15, 16), enquanto Park et al., 2016 (17) não encontraram diferenças no condicionamento físico, tal como massa muscular, força e resistência geral, entre pilotos veteranos que apresentaram G-LOC e os que não apresentaram. É importante mencionar que esses autores sugeriram que a coordenação entre os músculos parece ser mais importante do que a hipertrofia para a tolerância G.

Outro fator que é bastante estudado é a influência da frequência cardíaca (FC) na tolerância G. Há evidências de que condicionamento aeróbico excessivo pode ter efeitos deletérios sobre a tolerância à gravidade, pois induz um desequilíbrio entre a atividade simpática e parassimpática e maior ativação vagal (18). Isso ocorreria, uma vez que o tônus vagal pode levar a uma bradicardia, com subsequente perda de consciência no voo. A maior distribuição sanguínea periférica no indivíduo treinado dificultaria a concentração de fluxo para manutenção da pressão arterial e a perfusão cerebral durante a exposição às acelerações do voo, reduzindo a tolerância G (18).

Por outro lado, um estudo mais recente, que revisou retrospectivamente os registros de 873 pilotos com experiência intermediária em treinamento com altas cargas G (caracterizado por terem realizado uma seção de palestras e uma seção de treinamento em centrífuga), demonstrou que o grupo reprovado no treinamento em centrífuga (protocolo: 15 segundos a 7,5 G) apresentou uma FC mais alta antes de atingir 7,5 G e uma FC de pico mais baixa a 7,5 G (12). Estudos anteriores também observaram que a maior FC de repouso e um maior aumento da FC imediatamente antes de iniciar o treinamento em centrífuga, em decorrência do estresse antecipatório, esteve correlacionada com maior chance de reprovação no treinamento (19). Esses resultados refutam a hipótese de que uma FC de repouso mais baixa pode ser um fator de risco para G-LOC (20).

Segundo Tu et al., 2020 (12), a capacidade do sistema cardiovascular para relaxar e se recuperar, ou seja, associada à resposta barorreflexa, parece ser mais importante para a tolerância G, do que os níveis basais da FC propriamente ditos. Isso porque foi observado que antes do perfil 7,5 G, os pilotos do grupo reprovado tiveram maiores aumentos de FC após a conclusão do perfil 6 G por 30 segundos. Em adição, foi identificado que o IMC, os aspectos relacionados à tolerância G basal e de esforço, bem como o escore obtido na realização da AGSM estiveram associados com a tolerância G. Embora a AGSM seja considerada uma das contramedidas mais importantes contra altas forças G, a significância estatística, no referido estudo, foi limítrofe. Os autores sugeriram que esse comportamento pode ter decorrido da tabulação dos dados para a obtenção do escore, uma vez que apenas o componente respiratório da AGSM foi considerado para a pontuação. Esse resultado corrobora a importância da avaliação dos dois componentes da AGSM a fim de caracterizar a sua execução.

Outros fatores, tais como os componentes antropométricos e fisiológicos (por exemplo: idade, estatura, massa corporal, pressão arterial, colesterol e horas de voo), também parecem apresentar correlações, porém essas são normalmente fracas para explicar o efeito na tolerância G dos pilotos (21, 22). Por outro lado, conforme mencionado anteriormente, a utilização de trajes anti-G, bem como a realização da AGSM, tem uma forte correlação positiva com a tolerância G (23).

Outro conceito importante, porém menos investigado, é a tolerância à duração G, definida como a duração do tempo que um piloto pode suportar exposições G específicas ou variadas continuamente até que o piloto fique cansado (24). Neste sentido, a fadiga é o principal fator limitante, uma vez que os pilotos expostos a uma força G elevada devem realizar continuamente a AGSM para evitar a incapacitação. A importância da avaliação do componente

muscular para caracterizar a AGSM, bem como a avaliação da fadiga corroboram a utilização da eletromiografia (EMG) neste contexto.

Eletromiografia em estudos de AGSM

Habitualmente, a EMG é utilizada para três objetivos principais: identificar o início da ativação muscular, mensurar a força produzida por um músculo e ainda como indicador de predição dos processos de fadiga (25). Dessa forma, a técnica é de grande valia na investigação das funções neuromusculares, e por isso, ao longo dos últimos anos a EMG tem sido amplamente utilizada como exame complementar em investigações de condições fisiopatológicas (neuropatias e miopatias), estudos de ergonomia, prevenção e monitoração de distúrbios relacionados à ocupação, fadiga muscular, tratamento de dores osteomusculares, reabilitação de lesões neurológicas/musculares, controle de próteses, treinamento esportivo (desempenho) e *biofeedback* (26).

Na eletromiografia de superfície (sEMG), os eletrodos são posicionados na superfície da pele imediatamente acima do músculo. A técnica sEMG é capaz de captar, registrar e representar de forma gráfica a atividade elétrica muscular (26) e tem a vantagem de ser não invasiva e, portanto, mantém a integridade da pele, exige menos cuidados de antissepsia e não causa dor. Por essas características, tem sido amplamente empregada em estudos clínicos e pesquisas, principalmente, na área do movimento humano. Nessa discussão, ao utilizar-se o termo EMG, o leitor pode considerar como sEMG, uma vez que é a técnica aplicada nos estudos que associam a AGSM e a EMG.

A partir do sinal de EMG pode-se extrair parâmetros, por meio de cálculos matemáticos, que são associados às características do processo de contração muscular e fadiga, tais como: quantidade de unidades motoras recrutadas, tipos de fibras e velocidade de condução do potencial de ação (27), entre outras. Como esta discussão trata somente do uso EMG associado à AGSM, diante da pesquisa para produção deste estudo, observou-se que os parâmetros de EMG mais utilizados são: raiz média quadrática (RMS), valor integrado absoluto (IAV); valor médio absoluto (MAV ou ARV); comprimento de onda (WL) e frequência mediana (MD). Esses parâmetros não foram os únicos utilizados, contudo, foram os que apresentaram maior importância nos estudos (3, 28).

De acordo com a pesquisa bibliográfica, o estudo de Cornwall e Krock (1992) (29) foi o primeiro a utilizar a EMG como ferramenta para avaliação da AGSM. Os autores avaliaram o valor RMS dos músculos eretores espinhais, oblíquo externo, bíceps femoral, vasto lateral e

gastrocnêmio lateral. Os músculos foram avaliados durante a AGSM, que foi executada por pilotos durante treinamento em centrífuga humana, ou seja, com sobrecarga G sendo imposta aos pilotos. Os resultados mostraram quedas importantes (61,45%) nos valores RMS dos membros inferiores quando submetidos à intensa sobrecarga, além de sinais de fadiga muscular.

Com o passar dos anos, pode-se observar que a técnica de EMG foi utilizada para diferentes avaliações. Um estudo de 2003 (30), por exemplo, sugeriu que o uso de suporte para a coluna lombar aumentou a efetividade da contração muscular, principalmente nos músculos da porção inferior do tronco (reto abdominal e eretores espinhais) durante a AGSM (em ambiente de 1G), quando comparado sem o suporte lombar. Uma possível explicação é que a utilização do suporte obriga o tronco a ficar mais ereto e essa posição deixa a musculatura em comprimento favorável para produção de força. Além dos resultados quantitativos obtidos com a EMG, a avaliação subjetiva dos pilotos apontou que a AGSM foi melhor executada na presença do suporte lombar (30).

Ainda no contexto da avaliação da AGSM, o estudo de Chen e colaboradores (6) avaliou 20 indivíduos saudáveis, incluindo 8 pilotos experientes e 12 sem experiência em estresse de alto G. Contudo, nesse estudo, buscou-se avaliar a componente respiratória da AGSM. A EMG foi aplicada e foi observado que o ciclo respiratório do grupo com experiência foi maior do que o grupo sem experiência (média de 2,2 *versus* 1,8 segundos), sendo o músculo bucinador que apresentou maior taxa de disparo em ambos os grupos, porém essa taxa foi ainda mais rápida para o grupo experiente. Além disso, o grupo experiente executou a AGSM com uma sequência de recrutamento dos músculos avaliados (bucinator, reto abdominal, latíssimo do dorso, diafragma, intercostais, peitoral maior e esternocleidomastoideo, respectivamente) diferente da sequência observada pelo grupo sem experiência (bucinator, esternocleidomastóideo, peitoral maior, intercostais, diafragma latíssimo do dorso e reto abdominal).

Os resultados desse estudo sugerem que o treinamento de AGSM pode promover um padrão de recrutamento muscular mais eficiente. Além disso, o aumento do tempo do ciclo respiratório permite ao piloto reduzir o número de respirações durante a manobra o que pode ser associado à uma economia de energia, uma vez que a ação respiratória exige ativações vigorosas dos músculos respiratórios. Esse estudo dá luz à importância do processo contínuo de treinamento da AGSM, uma vez que expõe diferenças no tempo do ciclo respiratório e, principalmente, do processo de recrutamento muscular entre os pilotos experientes e inexperientes. Essa situação indica que há um processo de amadurecimento motor para a execução da AGSM, que pode levar tempo para o piloto adquirir.

Um estudo da Força Aérea Indiana (31) indicou aumento na tolerância de G (de 0,44 G) após uma sessão de treinamento de AGSM, testada em centrífuga humana, em 25 pilotos destreinados. Os autores verificaram uma maior atividade dos músculos de membros inferiores (vasto lateral e gastrocnêmio) em relação aos músculos do tronco (reto abdominal e peitoral), durante a execução da manobra AGSM. Apesar do estudo ter utilizado EMG para quantificação das atividades musculares, a técnica não foi empregada durante o treinamento proposto. A técnica de EMG também foi utilizada para investigar a associação dos parâmetros de contratilidade muscular (RMS, IAV e MAV) e fadiga (WL, ZC e MF).

Nesse contexto, Choi e colaboradores (3) sugeriram a criação de um marcador para G-LOC, baseado nas alterações temporais de alguns parâmetros da EMG coletado no músculo gastrocnêmio. Os autores observaram que os parâmetros IAV e WL demonstraram rápida deterioração na presença de fadiga (três segundos antes da ocorrência de G-LOC). A partir disso, foi proposto um algoritmo, de forma que os autores sugeriram que estes parâmetros da EMG poderiam ser futuramente utilizados como bio-sinais de alarme durante o voo para evitar a ocorrência de G-LOC. Contudo, não foi sugerido qual intensidade da queda do sinal seria o limiar para disparar o alarme. Sendo assim, estudos ainda são necessários para aprimorar o algoritmo proposto.

Apesar do potencial da técnica de EMG, pode-se perceber uma escassez nos trabalhos científicos que a utiliza como ferramenta para treinamento da AGSM. Dentre os estudos existentes, há uma heterogeneidade metodológica significativa, sobretudo em relação aos parâmetros da EMG utilizados. Com exceção de Chen e colaboradores (2004) (6), que utilizaram a EMG para avaliação de músculos envolvidos na componente respiratória, a maioria dos estudos avaliou os músculos envolvidos diretamente na componente muscular da AGSM. Em adição, é importante observar que somente dois estudos realizaram as medidas de AGSM em ambientes com alta carga G (centrífuga humana) (29, 31). Apesar da EMG ter potencial para ser uma ferramenta alternativa à centrífuga humana, é importante realizar medidas em situações reais de G para que o método seja definitivamente validado.

Por fim, não foram observados, até o presente momento, estudos que utilizaram a EMG como ferramenta de *biofeedback*, ou seja, capaz de fornecer em tempo real a atividade muscular para ajudar os pilotos a aprimorarem suas habilidades de controle para a musculatura ativada. Partindo do princípio de que a AGSM é uma tarefa motora complexa, que une a contração isométrica de vários músculos associada à uma manobra respiratória intensa, repetitiva e com razoável complexidade, é importante garantir que ao realizar a AGSM todos os músculos necessários estão sendo devidamente recrutados. Nesse contexto, o *biofeedback* em tempo real

pode ser bastante útil tanto para pilotos quanto para instrutores para uma primeira avaliação qualitativa da AGSM. A Figura contextualiza o *biofeedback* por EMG para AGSM na perspectiva da necessidade de desenvolvimento do fator humano em acompanhamento ao desenvolvimento tecnológico.

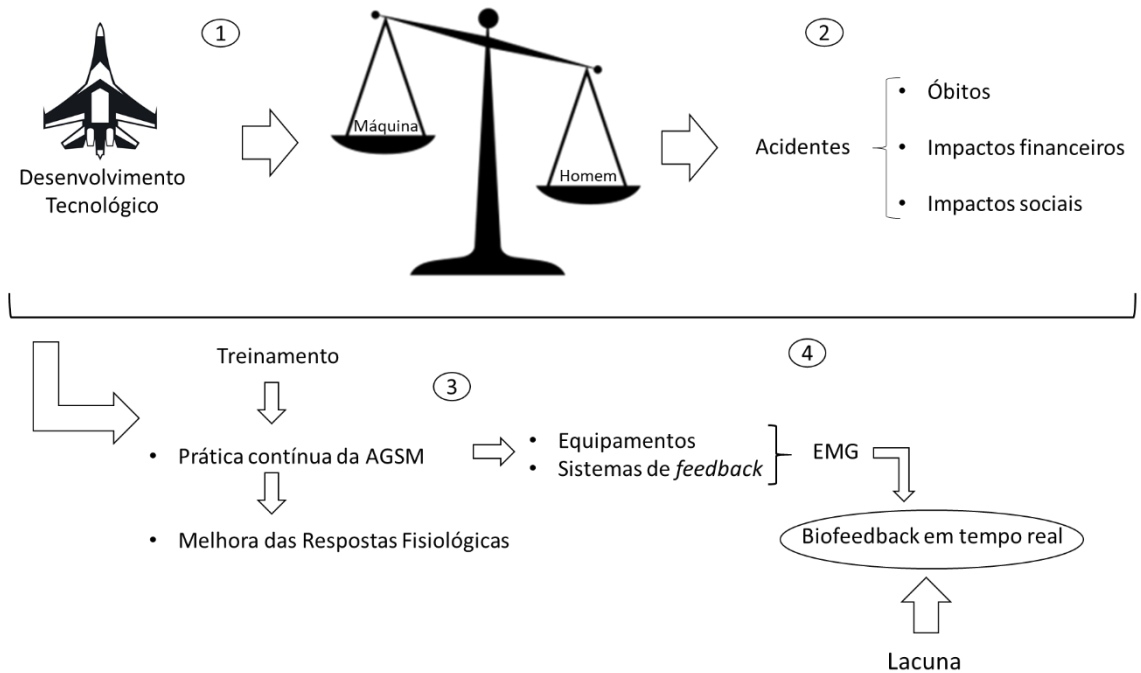


Figura 1. Contextualização, em quatro etapas, da necessidade do treinamento de AGSM com o uso do EMG como ferramenta de *biofeedback*. 1-O avanço tecnológico dos vetores de caça tende a causar um desequilíbrio entre a capacidade do piloto e do avião, o que leva a necessidade de aumentar a capacidade funcional do piloto; 2- Esse desequilíbrio máquina x homem eleva as possibilidades de acidentes, gerando o aumento na taxa de óbitos e aumentando os impactos negativos nos aspectos financeiro e social; 3 – Diante da realidade situacional, emerge a necessidade de treinamento contínuo da AGSM visando aumentar a capacidade das respostas fisiológicas dos pilotos. Para tal, equipamentos como EMG e sistemas de *feedback* são necessários para aprimorar a qualidade do treinamento. 4 – A EMG é um sistema capaz de avaliar as duas componentes da AGSM (respiratória e muscular) e ainda permite um *feedback* tanto para pilotos quanto para instrutores quanto a qualidade da manobra. Contudo a EMG ainda não foi explorada neste sentido de aprimoramento do treinamento da AGSM, expondo uma lacuna na literatura.

Conclusões

O presente estudo teve como objetivo discutir as consequências fisiológicas das forças acelerativas, mostrar a eficiência da AGSM como contramedida e o estado da arte sobre a utilização da EMG no contexto da AGSM. Sob o ponto desses objetivos, a presente revisão narrativa destaca alguns apontamentos, tais como:

- Aeronaves capazes de sustentar 7G ou mais tornam o recurso humano como fator limitante para máxima operacionalidade da aeronave.

- A AGSM é essencial para suportar sobrecargas acima de 7G, o que gera a necessidade de um treinamento operacional contínuo.
- A literatura ainda é escassa do que diz respeito à utilização da EMG para avaliação de AGSM.
- Os poucos estudos apresentam diversidade de objetivos e parâmetros de EMG analisados.
- A EMG é uma ferramenta que pode ser muito útil e de custo acessível para treinamento de AGSM em locais que não possuem uma centrífuga humana.
- A utilização do EMG como ferramenta de *biofeedback* é uma lacuna aberta para se explorar junto à AGSM.

Portanto, o estudo pode contribuir de forma significativa para a evolução da segurança de voo nas operações aéreas e, no entendimento da fisiologia humana durante voos com altas carga de força G, à medida que à medida que discute as vantagens da AGSM para mitigação dos casos de G-LOC e a possibilidade de realização de treinamento de AGSM sem uso de centrífuga humana, por meio do uso de EMG.

Referências

1. Administration FA. Acceleration in aviation: G-Force. Oklahoma2022.
2. Shaw DM, Harrell JW. Integrating physiological monitoring systems in military aviation: a brief narrative review of its importance, opportunities, and risks. *Ergonomics*. 2023;66(12):2242-54.
3. Choi B, Lee Y, Cho T, Koo H, Kim D. Detection of G-Induced Loss of Consciousness (G-LOC) prognosis through EMG monitoring on gastrocnemius muscle in flight. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2015:7007.
4. Burns JW, Ivan DJ, Stern CH, Patterson JC, Johnson PC, Drew WE, et al. Protection to +12 Gz. *Aviat Space Environ Med*. 2001;72(5):413-21.
5. David JR, David PG. *Ernsting's aviation medicine*. London: Edward Arnold; 2006.
6. Chen HH, Wu YC, Kuo MD. An electromyographic assessment of the anti-G straining maneuver. *Aviat Space Environ Med*. 2004;75(2):162-7.
7. Davis JR, Johnson R, Stepanek J, Fogarty JA. *Fundamentals of aerospace medicine*. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2012.
8. Banks RD, Grissett JD, Turnipseed GT, Saunders PL, Rupert AH. The "push-pull effect". *Aviat Space Environ Med*. 1994;65(8).
9. Cheana C. Fuerzas Acelerativas – G-LOC. In: Centro de Medicina Aeroespacial, Sociedad Chilena de Medicina de Aviación y del espacio: Conceptos Fisiológicos de Medicina de Aviación; 2011.
10. Whinnery T, Forster EM. The +Gz-induced loss of consciousness curve. *Extrem Physiol Med*. 2013;2(1):19.
11. Yun C, Oh S, Shin YH. AGSM Proficiency and Depression Are Associated With Success of High-

- G Training in Trainee Pilots. *Aerosp Med Hum Perform*. 2019;90(7):613-7.
12. Tu MY, Chu H, Lin YJ, Chiang KT, Chen CM, Chen HH, et al. Combined effect of heart rate responses and the anti-G straining manoeuvre effectiveness on G tolerance in a human centrifuge. *Sci Rep*. 2020;10(1):21611.
 13. Burton RR, Leverett Jr SD, Michaelson ED. *Man at High Sustained +Gz Acceleration*. Paris: Advisory Group for Aerospace Research and Development; 1974.
 14. Whinnery JE, Whinnery AM. Acceleration-induced loss of consciousness. A review of 500 episodes. *Arch Neurol*. 1990;47(7):764-76.
 15. Epperson WL, Burton RR, Bernauer EM. The effectiveness of specific weight training regimens on simulated aerial combat maneuvering G tolerance. *Aviat Space Environ Med*. 1985;56(6):534-9.
 16. Tesch PA, Hjort H, Balldin UI. Effects of strength training on G tolerance. *Aviat Space Environ Med*. 1983;54(8):691-5.
 17. Park J, Yun C, Kang S. Physical Condition Does Not Affect Gravity Induced Loss of Consciousness during Human Centrifuge Training in Well-Experienced Young Aviators. *PLoS ONE* [Internet]. 2016; 11(1):[e0147921 p.].
 18. Crisman RP, Burton RR. Physical fitness program to enhance aircrew G tolerance. Naval Aerospace Medical Research Laboratory. 1988.
 19. Habazettl H, Stahn A, Nitsche A, Nordine M, Pries AR, Gunga HC, et al. Microvascular responses to (hyper-)gravitational stress by short-arm human centrifuge: arteriolar vasoconstriction and venous pooling. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(1):57-65.
 20. van Lieshout EJ, van Lieshout JJ, Krol J, Simons M, Karemaker JM. Assessment of cardiovascular reflexes is of limited value in predicting maximal +Gz-tolerance. *Aviat Space Environ Med*. 1992;63.
 21. Forster EM, Shender BS, Forster EC. The effect of aircrew age on +Gz tolerance as measured in a human-use centrifuge. *Proceedings of the RTO HFM Symposium*. France1999.
 22. Webb JT, Oakley CJ, Meeker LJ. Unpredictability of fighter pilot G tolerance using anthropometric and physiological variables. *Aviat Space Environ Med*. 1991;62(2).
 23. Gillingham KK, Fosdick JP. High-g training for fighter aircrew. *Aviat Space Environ Med*. 1988;59(1).
 24. Park M, Yoo S, Seol H, Kim C, Hong Y. Unpredictability of fighter pilots' g duration tolerance by anthropometric and physiological characteristics. *Aerosp Med Hum Perform*. 2015;86(4):397-401.
 25. De Luca CJ. *The Use of Surface Electromyography in Biomechanics*. Journal of Applied Biomechanics. 1997;13.
 26. Merletti R, Farina D. *Surface Electromyography: Physiology, Engineering, and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken; 2016.
 27. Garcia MAC, Vieira TMM. Surface electromyography: Why, when and how to use it. *Revista Andaluza de Medicina del Deporte*. 2011;4(1).
 28. Kim S, Cho T, Lee Y, Koo H, Choi B, Kim D. G-LOC Warning Algorithms Based on EMG Features of the Gastrocnemius Muscle. *Aerosp Med Hum Perform*. 2017;88(8):737-42.
 29. Cornwall MW, Krock LP. Electromyographic activity while performing the anti-G straining maneuver during high sustained acceleration. *Aviat Space Environ Med*. 1992;63(11).
 30. Oksa J, Linja T, Rintala H. The effect of lumbar support on the effectiveness of anti-G straining maneuvers. *Aviat Space Environ Med*. 2003;74(8):886-90.
 31. Sah I, Nataraja MS, Rastogi P. Quantified muscular contraction during agsm and its correlation with straining +Gz tolerance. *Indian Journal of Aerospace Medicine*. 2018;62(2):11.

ANEXO IV – Minuta de alteração da ICA

Proposta de modificação da Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 37-650, que define o Currículo Mínimo do Estágio de Adaptação Fisiológica (EAF) de 2017

Inicialmente, para contextualização da proposta, torna-se válido destacar trechos importantes da ICA, que fazem menção ou tem relação com os efeitos fisiológicos das acelerações em operações aéreas, transcrevendo-os fielmente, como encontrados atualmente no documento e na sequência, apontamos as sugestões de mudança na estrutura do EAF e conseqüentemente no texto desta ICA, tendo como objetivo o aperfeiçoamento do treinamento fisiológico oferecido pelo Instituto de Medicina Aeroespacial (IMAE), através da incorporação dos aprendizados, experiências e técnicas desenvolvidos a partir do trabalho experimental realizado no Programa de Pós-graduação em Desempenho Humano Operacional (PPGDHO) da Universidade da Força Aérea (UNIFA).

A pesquisa mencionada acima propôs o emprego da Eletromiografia de Superfície (sEMG) como ferramenta de monitorização e quantificação da atividade nos músculos oblíquo abdominal, vasto medial, bíceps femoral e gastrocnêmio medial, que são sabidamente importantes para o sucesso da Anti G Straining Maneuver (AGSM). Paralelamente, foi estudado o possível impacto positivo do *biofeedback* fornecido pela EMG durante execução da AGSM por parte dos cadetes da AFA (voluntários).

Após o tratamento dos dados obtidos, e adequada análise estatística, concluímos que a técnica de treinamento da AGSM com emprego da EMG se mostrou útil para avaliação da qualidade da ativação dos músculos estudados, assim como o *feedback* proporcionado contribui para melhor entendimento da consciência corporal, aperfeiçoando as estratégias de contração/recrutamento muscular, culminando em uma melhoria na execução da manobra, podendo representar incremento na tolerância dos pilotos aos efeitos da aceleração +Gz, tanto nos treinamentos em centrifuga humana como em situações de voo real.

Por fim, realizamos uma avaliação crítica do treinamento por meio da Net Promoter Score (NPS), com o intuito de captar a percepção dos cadetes sobre a qualidade e importância da utilização da EMG como ferramenta de treinamento da AGSM, onde as respostas ao questionário evidenciam altos graus de satisfação e ampla recomendação dos voluntários para utilização da técnica de EMG no processo de treinamento da AGSM.

1 DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

1.1 FINALIDADE

Esta instrução tem por finalidade estabelecer o Currículo Mínimo do Estágio de Adaptação Fisiológica (EAF).

2 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL DO ESTÁGIO

2.2 A carga horária do Estágio será adaptada de acordo com o tipo de EAF e o público-alvo, militares ou civis, conforme descrito no Quadro Geral.

3 PADRÃO DE DESEMPENHO DE ESPECIALIDADE E PERFIL DO ESTAGIÁRIO

3.1 PADRÃO DE DESEMPENHO ESPECÍFICO DO AERONAVEGANTE/ PQDT NO EAF:

f) realizar a Manobra de Resistência às Acelerações (AGSM);

Sugestão: detalhar melhor os aspectos referentes ao padrão de desempenho específico do piloto de caça principalmente sobre os aspectos relacionados às acelerações.

f) entender os aspectos fisiológicos relacionados às acelerações; identificar a influência deste fator no dia a dia do piloto; enfatizar a aceleração +Gz; entender o passo-a-passo da AGSM; e com auxílio da sEMG entender as melhores estratégias de recrutamento muscular.

4 FINALIDADE, OBJETIVOS GERAIS E DURAÇÃO DO ESTÁGIO

4.1 FINALIDADE

Proporcionar aos aeronavegantes e paraquedistas (PQDT) militares e civis, conhecimentos sobre os problemas fisiológicos decorrentes da atividade aérea, bem como sobre os procedimentos a serem adotados e uso dos equipamentos de apoio vital ao tripulante no exercício da referida atividade.

4.3 DURAÇÃO DO ESTÁGIO

~~4.3.1 O Estágio de Adaptação Fisiológica no IMAE terá a duração de 1 (um) dia para a prática nos Equipamentos de Treinamento Fisiológico (CH= 3 a 6 tempos, dependendo do tipo de EAF), para todos os tipos de aviação e PQDT.~~

Sugestão: Aumentar o tempo de permanência dos pilotos de caça no IMAE para permitir melhor treinamento sobre as acelerações.

4.3.1 O Estágio de Adaptação Fisiológica no IMAE terá a duração de 1 (um) dia para a prática nos Equipamentos de Treinamento Fisiológico para todos os tipos de aviação e PQDT, exceto

para pilotos de caça, onde terá duração de 2 (dois) dias para viabilizar a realização de treinamento de AGSM com EMG em cockpit de simulação.

5 CONTEÚDO CURRICULAR

5.1 QUADRO GERAL DO ESTÁGIO

5.1.1 PARA OS MILITARES DE ALTA PERFORMANCE (CAÇA)

CAMPO	ÁREA	DISCIPLINAS	CH PARA INSTRUÇÃO	CH PARA AVAL	CARGA HORÁRIA TOTAL
TECNICO ESPECIALIZAD	CIÊNCIAS MÉDICAS E DA SAÚDE	MEDICINA DE AVIAÇÃO	09	00	09
		TREINAMENTO FISIOLÓGICO	06	00	06
CARGA HORÁRIA TOTAL			15	00	15

- Sugestão: Aumentar a carga horária para acomodar maior detalhamento na instrução teórica de acelerações/AGSM, e da mesma forma para permitir a preparação e realização de oficina de AGSM instrumentada com *biofeedback* da EMG em cockpit (AGSM trainer).

CAMPO	ÁREA	DISCIPLINAS	CH PARA INSTRUÇÃO	CH PARA AVAL	CARGA HORÁRIA TOTAL
TECNICO ESPECIALIZAD	CIÊNCIAS MÉDICAS E DA SAÚDE	MEDICINA DE AVIAÇÃO	10	00	10
		TREINAMENTO FISIOLÓGICO	10	00	10
CARGA HORÁRIA TOTAL			20	00	20

5.2 DESDOBRAMENTO DO QUADRO GERAL DO ESTÁGIO

5.2.1 PARA OS MILITARES DE AVIAÇÃO DE ALTA PERFORMANCE (CAÇA)

DISCIPLINA: MEDICINA DE AVIAÇÃO

- h) ~~identificar a Manobra de Resistência às Acelerações (AGSM) (Cp);~~
 i) ~~identificar os efeitos da “Gz” positivo sobre o organismo humano, bem como nas demais direções e sentidos (Cp);~~

- Sugestão: ampliar o escopo das instruções para inclusão do AGSM com EMG.

h) compreender os impactos fisiológicos das acelerações; identificar os momentos do voo mais críticos quanto aos efeitos nocivos das acelerações; entender fatores que influenciam a tolerância às acelerações +Gz, identificar as contramedidas frente às acelerações; identificar a Manobra de Resistência às acelerações (AGSM); aprender sobre a correta realização da AGSM (componentes respiratório e muscular); executar a manobra sob supervisão do instrutor; identificar o funcionamento da eletromiografia/*biofeedback*; entender as melhores estratégias de ativação muscular; executar a manobra em cockpit de treinamento de AGSM com visualização da atividade muscular em tempo real e sob orientação do instrutor.

EMENTA:

~~5) Acelerações: conceito; classificação; nomenclatura; efeitos e proteção.~~

- Sugestão: adicionar discussão sobre fatores de risco e aprofundar os aspectos referentes às contramedidas e fatores de proteção.

5) Acelerações: conceito; classificação; nomenclatura; fatores de risco, efeitos e contramedidas, fatores de proteção.

DISCIPLINA: TREINAMENTO FISIOLÓGICO

~~**CH PARA INSTRUÇÃO:** 06 tempos~~

Sugestão: ampliar a carga horária para 10 tempos.

CH PARA INSTRUÇÃO: 10 tempos

EMENTA:

~~5) Efeitos das Acelerações Sustentadas: prática da AGSM.~~

Sugestão: incluir o *biofeedback* e utilizar o cockpit de treinamento de AGSM.

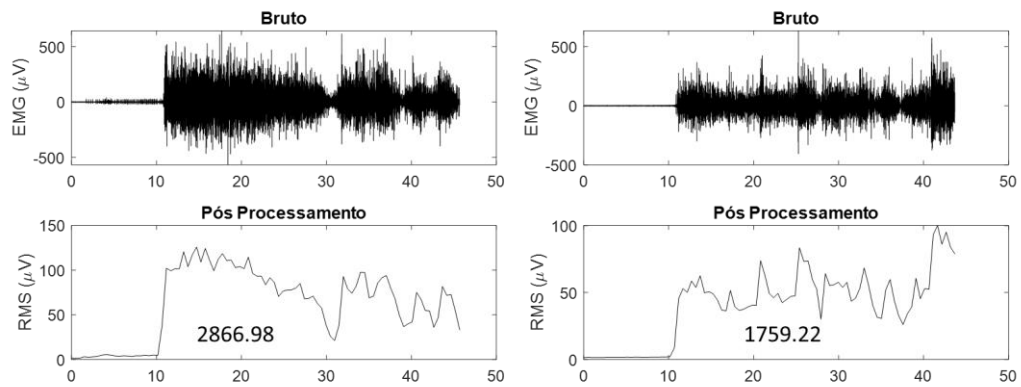
5) Efeitos das Acelerações Sustentadas: prática da AGSM com *biofeedback* (EMG) em cockpit de treinamento (AGSM trainer).

ANEXO V – Figuras complementares

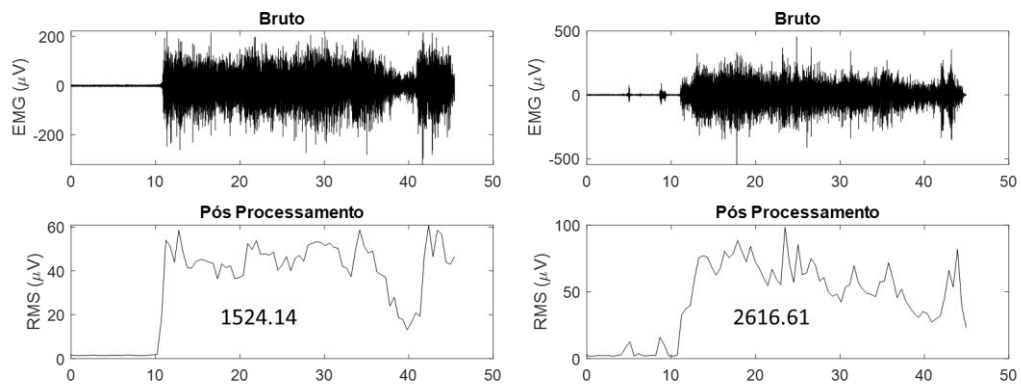
Resultados Preliminares (apresentados na qualificação)

Sinal de EMG (acima) e curva RMS gerada pós processamento (abaixo), das tentativas 1 (esquerda) e 2 (direita) de AGSM. Dentro do gráfico da curva RMS é indicado o valor da área sob a curva.

Exemplo Controle

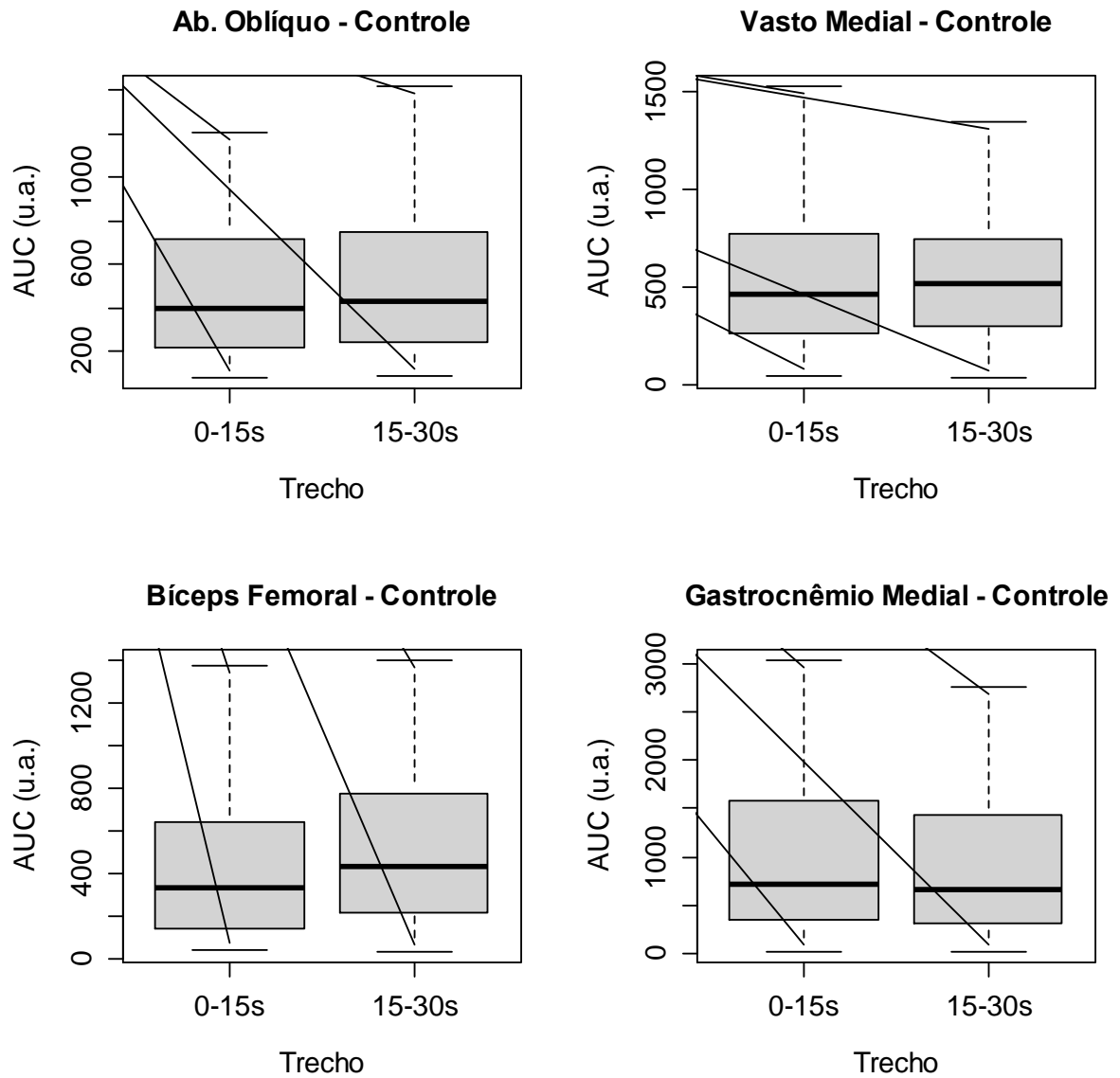


Exemplo Intervenção



Fonte: o próprio autor.

Boxplot da variação *AUC* de cada trecho (0-15s e 15-30s), para cada músculo do grupo controle.



Boxplot da variação AUC de cada trecho (0-15s e 15-30s), para cada músculo do grupo intervenção.

