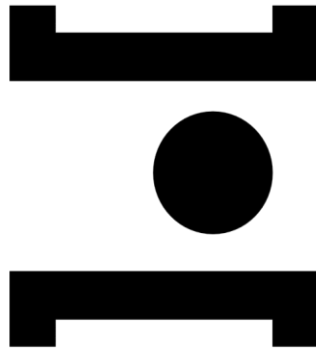


INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM

Escola Superior de Desporto de Rio Maior



**POLITÉCNICO  
DE SANTARÉM**

Caracterização Técnica e Neuromuscular do Nadador de Águas  
Abertas

Dissertação

Mestrado em Treino Desportivo

Carlos Fernando Gonçalves Sobral Silva

Orientadora:

Professora. Doutora Ana Conceição

Co orientador

Professor Doutor Hugo Louro

Julho, 2023

## Agradecimentos

Este trabalho só foi realizado com a ajuda e motivação de várias pessoas. Tudo o que possa aqui escrever não será suficiente para agradecer todas as pessoas que percorreram este caminho comigo e que ficará na minha memória.

A Professora Doutora Ana Conceição por me dar os seus conselhos quando tudo parecia impossível de realizar. Muito obrigado por ter sido, na sua sala, a primeira a dizer para avançar com este projeto quando os riscos eram elevados devido ao material a ser usado, pela ajuda sempre demonstrada e simpatia que teve ao longo deste percurso, principalmente, na altura de recolhas em que parecia interminável. Obrigado por acreditar em mim.

Ao Professor Doutor Hugo Louro pela disponibilidade apresentada ao longo de todo o processo, pelos conhecimentos transmitidos, pela forma como me ajudou a conduzir este projeto ajudando a me manter focado. Um muito obrigado.

Ao Professor Doutor Jan Šťastný pela ajuda em todo o processo, que, sem a sua ajuda, tudo seria praticamente impossível, senão mesmo impossível, de realizar. Os conhecimentos que transmitiu foram essenciais para a conclusão do tratamento dos dados. Muito obrigado

À minha colega Diana Torres o meu enorme obrigado. Mais que uma colega, uma amiga que levarei para a vida. Obrigado por todos os conselhos, pela incansável ajuda nas recolhas, na preparação e tratamento dos dados. Este trabalho fica mais enriquecido com a tua ajuda.

Aos nadadores que se disponibilizaram a realizar este trabalho, porque sem a ajuda deles, nada disto seria possível... como se costuma dizer, bem como aos seus respetivos treinadores e clubes.

À Ana a minha esposa. Obrigado por todas as noites perdidas, por todas as conversas e incentivos, por todos os alertas (porque eu também os oiço, não parecendo). Obrigado por estares sempre comigo nos bons e nos maus momentos, obrigado por me fazeres acreditar quando mais ninguém acredita.

Ao Professor Doutor Mário Espada por ter sido o grande responsável pelo início do meu trajeto académico, por me ter aberto a porta para a investigação, pela confiança, paciência e amizade.

A todos os meus grandes amigos pelas palavras de conforto, compreensão e ajuda nos momentos em que a vida coloca obstáculos à nossa frente.

A todos os que estiveram direta e indiretamente envolvidos em todo o meu processo.

# Índice

Resumo.....	7
Abstract.....	8
Lista de Abreviaturas.....	9
1.Introdução .....	10
2.Revisão de Literatura .....	12
2.1 Natação de Águas Abertas.....	14
2.2 Eletromiografia em Natação Pura Desportiva.....	16
2.3 Cinemática.....	18
2.4 Apresentação do Tema – Problema .....	21
2.5 Objetivos do Estudo.....	21
2.6 Problema de Estudo .....	21
3.Material e Métodos.....	22
3.1 Caracterização dos Participantes .....	22
3.2 Procedimento Experimental.....	22
3.3 Análise Dados de Eletromiografia.....	28
3.4 Analise Estatística .....	28
4.Resultados .....	29
5.Discussão.....	40
6.Limitações .....	44
7.Conclusões.....	44
8.Sugestões para Investigações Futuras .....	45
Bibliografia.....	45

## Índice de Figuras

Figura 1 - Localização e percurso .....	23
Figura 2 – Colocação elétrodos parte anterior do corpo Pectoralis Major, Posterior Deltoid, Anterior Deltoid. ....	24
Figura 3 – Colocação Elétrodos na parte posterior do atleta Upper Trapezius, Triceps Brachii, Latissimus dorsi.....	25
Figura 4– Relógio e fita do cardiofrequencímetro.....	26
Figura 5- Máquina Filmar Panasonic Lumix, DC – FZ 1000II.....	27
Figura 6- Cronometro Finis.....	28

## Índice de Tabelas

Tabela 1 Caracterização Antropométrica dos Nadadores.....	22
Tabela 2- Média $\pm$ Desvio padrão da ativação muscular (%MVC) nas fases de propulsão e recuperação para comparação entre cada volta .....	37

## Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Velocidade Média dos Nadadores (N= 9) ao longo dos 5 kms .....	30
Gráfico 2– Frequência Gestual Média dos Nadadores.....	30
Gráfico 3– Distância de Ciclo Média dos Nadadores .....	31
Gráfico 4 – Índice de Braçada Média dos Nadadores .....	31
Gráfico 5 – Frequência Cardíaca Média dos Nadadores .....	32
Gráfico 6 – % Média Atividade Muscular do Músculo Upper Trapezius em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms. ...	32
Gráfico 7- % Média Atividade Muscular do Músculo Posterior Deltoid em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms. ...	33
Gráfico 8 - % Média Atividade Muscular do Músculo Anterior Deltoid em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms. ....	34
Gráfico 9- % Média Atividade Muscular do Músculo Biceps Brachii em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.....	34
Gráfico 10- % Média Atividade Muscular do Músculo Triceps Brachii em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.....	35

Gráfico 11 - % Média Atividade Muscular do Músculo Pectoralis Major em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms ...	35
Gráfico 12- % Média Atividade Muscular do Músculo Latissimus dorsi em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms ...	36
Gráfico 13- Diferenças significativas entre a ativação muscular do PD em função da distância para $p \leq 0.05$ .....	38
Gráfico 14 - Diferenças significativas entre a ativação muscular do AD em função da distância .....	39

#### Índice de Equações

Equação 1- $FG = 3 \cdot t^{3-1}$ .....	27
Equação 2 - $DC = v \cdot FG$ .....	27
Equação 3 - $IB = DC \cdot v$ .....	27
Equação 4 - $V = \text{distância} / \text{tempo}$ .....	27

## Resumo

O objetivo deste estudo foi a Caracterização Técnica e Neuromuscular do Nadador de Águas Abertas, através da avaliação de 9 nadadores num percurso de 5x1000 metros. Medimos a participação muscular num nadador de AA durante a prova de 5km, e quais as implicações nos parâmetros cinemáticos da técnica. Foram avaliados 9 nadadores masculinos de águas abertas (idade:  $25,4 \pm 11,9$  anos; massa corporal:  $75,9 \pm 9,0$  kg; altura:  $180,7 \pm 6,7$  cm; envergadura:  $185,6 \pm 10,3$  cm) individualmente em ambiente aberto (lago), realizando 5 x 1000 m na intensidade máxima, com intervalo de 30 segundos a cada 1000m. Foram calculadas as variáveis cinemáticas: Frequência Gestual (FG), velocidade de nado (v), Distancia de Ciclo (DC) e o índice de braçada (IB). Os muscules analisados foram do lado esquerdo: *Upper Trapezius*(UP); *Latissimus dorsi*(LD); *Pectoralis Major*(PM); *Posterior Deltoid*(PD); *Anterior Deltoid*(AD); *Triceps Brachii*(TB); *Biceps Brachii*(BB). Aumento da FG com pequeno efeito ( $F=2,71$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $\eta^2=0,25$ ), especialmente na última volta do percurso; uma diminuição com efeito médio de DC ( $F=3,41$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $\eta^2=0,30$ ) e IB ( $F=3,29$ ,  $p > 0,05$ ,  $\eta^2=0,29$ ) do início ao fim do percurso. Nota-se que DC e IB se alteraram ao longo das distâncias percorridas, mostrando uma diminuição, essencialmente entre 1000m e 4000m. Diferenças foram encontradas nos músculos UT e AD, mostrando maior ativação na recuperação, e também nos músculos MT e LD, sendo altamente recrutados na fase propulsiva em comparação com a recuperação. Durante a prova de 5km, os nadadores mantiveram uma velocidade constante para controlar o seu desempenho. Ao longo da prova, o DC e o IB tenderam a diminuir progressivamente com a distância. Os resultados EMG obtidos no presente estudo sugerem que os músculos UT e AD tiveram maior atividade na recuperação do que o oposto, e MT e LD foram maiores nas fases propulsivas do curso de natação, a fim de superar o arrasto da água e estabilizar o movimento.

**Key-words:** Biomecânica, Águas Abertas, Eletromiografia Superficial, Crol

## Abstract

The aim of this study was the Technical and Neuromuscular Characterization of the Open Water Swimmer, through the evaluation of 9 swimmers in a course of 5x1000 meters. We measured the muscular participation on a open water swimmer during the 5km race, and what where the implications in the kinematic parameters of the technique We evaluated 9 male open water swimmers (age:  $25.4 \pm 11.9$  years; body mass:  $75.9 \pm 9.0$  kg; height:  $180.7 \pm 6.7$  cm; wingspan:  $185.6 \pm 10.3$  cm) individually in an open environment (lake), performing 5 x 1000 m at maximum intensity, with an interval of 30 seconds every 1000m. The kinematic variables will be calculated: Stroke rate (FG), swimming speed ( $v$ ), Stroke Length (DC) and the stroke index (IB). and the muscles analized on the left side where: *Upper Trapezius*(UP); *Latissimus dorsi*(LD); *Pectoralis Major*(PM); *Posterior Deltoid*(PD); *Anterior Deltoid*(AD); *Triceps Brachii*(TB); *Biceps Brachii*(BB). Subsequently, the use of the IBM SPSS 28 program for the statistical treatment of the collected data. An increase of FG with small effect ( $F=2.71$ ,  $p \leq 0.05$ ,  $\eta^2=0.25$ ), especially in the final lap of the trial; a decrease with medium effect of SL ( $F=3.41$ ,  $p \leq 0.05$ ,  $\eta^2=0.30$ ) and SI ( $F=3.29$ ,  $p > 0.05$ ,  $\eta^2=0.29$ ) from the begin to the end of the trial. It is noticeable that DC and IB changed along the distances covered, showing a decrease, essentially between 1000m and 4000m. Differences were found in UT and AD muscles, showing higher activation in the recovery, and also in TM and LD muscles, being highly recruited in the pull phase compared to recovery. During the 5000m race, the swimmers maintained a constant speed in order to control their performance. Throughout the race, the SL and SI tended to decrease progressively with distance. The EMG results achieved in the present study suggest that the UT and AD muscles had higher activity in recovery than opposite, and TM and LD were higher in the pull-through phases of the swimming stroke, in order to overcome water drag and stabilize the movement.

**Key-words:** Biomechanics, Open Water Swimming, Surface Electromyography, Freestyle

## Lista de Abreviaturas

**AD**- Anterior Deltoid

**BB** – Biceps Brachii

**Cm** - Centímetros

**COI** - Comité Olímpico Internacional

**AD**- Anterior Deltoid

**DC** - Distância percorrida por ciclo

**EMG** - Eletromiografia

**sEMG** - Eletromiografia de Superfície

**kEMG** - Eletrografia Cinesiológica

**FC** - Frequência cardíaca

**FG** - Frequência gestual

**FINA** - Fédération Internationale de Natation

**FPN** - Federação Portuguesa de Natação

**IB** - Índice de braçada

**Km** - Quilómetros

**LD** – Latissimus dorsi

**LEN** - Ligue Européenne de Natation

**M** - Metros

**MC** - Massa corporal

**Min** - Minutos

**TB** – Triceps Brachii

**NP** - Natação pura

**PD** – Posterior Deltoid

**PM** – Pectoralis Major

**S** - Segundo

**SPSS** - Statistical Package for the Social Sciences

**T** - Tempo

**UP** – Upper Trapezius

**V** - Velocidade

## 1.Introdução

O surgimento das águas abertas (AA) como uma das disciplinas mais recentes da natação tem suscitado a curiosidade de treinadores, nadadores e demais intervenientes. O aparecimento da prova de 10km no programa olímpico em Pequim 2008 tem vindo a evidenciar uma maior curiosidade e conhecimento nesta disciplina. As diferenças ecológicas de nadar em piscina ou no mar conduzem a constrangimentos que impõem dificuldades para alguns atletas e/ou facilidades para outros (Bonança et al., 2021). Diferentes variáveis como a ondulação, a radiação solar, a temperatura do ambiente e da água bem como a necessidade de uma exigente capacidade de adaptação por parte dos intervenientes coabitam num contexto sempre incerto (Munatones, 2011).

A primeira prova de AA foi em 1875 onde o capitão Matthew Webb se tornou a primeira pessoa a atravessar o canal Inglês 33.8 quilómetros.

A primeira grande competição internacional da disciplina de AA foi o Campeonato do Mundo em Perth, em 1991, com a prova de 25 km e a prova de 10 km teve a sua estreia no programa de Campeonatos do Mundo em Fukuoka, em 2001(Oliveira et al.,2018).

Existem outras características que a diferenciam da natação pura, como por exemplo as distâncias a percorrer, as referências visuais (que servem como orientação) e o nado em grupo (que proporciona o contacto físico) (Oliveira et al.,2018). Devido a esta variedade de fatores, a natação de AA representa a mais diversa e fisiologicamente desafiadora disciplina da FINA (Shaw et al., 2014) e os nadadores de AA desenvolvem características muito específicas, tanto a nível mental ou físico (Borges, 2015). Nadadores de AA têm de ser capazes de se adaptar e lidar com o inesperado (Munatones, 2008) e devem ter uma boa capacidade aeróbia associada à capacidade de nadar a velocidades elevadas durante longos períodos (VanHeest et al., 2004).

Uma prova de AA tem como característica específica a variação de velocidades em determinados momentos da mesma, sendo que os nadadores utilizam estratégias pré-definidas para alcançar a vitória (Borges, 2015).

Em eventos de longa duração (> 30 min), os nadadores adotam um perfil uniforme ao longo da prova, selecionando a velocidade de nado que são capazes de manter até ao final da competição, principalmente, a partir do momento em que existe uma fadiga muscular e psicológica acumulada que provoca a diminuição do rendimento do nadador (Rodriguez et al., 2017). Como a natação de AA é uma disciplina onde o resultado se baseia na classificação final e não na diferença dos tempos entre os nadadores, estes devem ter consciência de todos os fatores extrínsecos, entre os quais os adversários, e ter uma boa capacidade aeróbia para maximizar o rendimento na competição (Oliveira et al., 2018).

Dado o aumento progressivo do número de participantes e o número de competições ao longo dos anos nas principais competições internacionais (Baldassarre et al., 2017; Vogt et al., 2013), o conhecimento técnico-científico na disciplina é escasso, levando a que os profissionais que a acompanham sintam a necessidade de procurar esse conhecimento em disciplinas de exigência semelhante, na busca do incremento do rendimento dos nadadores de AA.

Neste sentido este estudo pretende analisar os nadadores de AA, aumentando o conhecimento sobre os efeitos que as longas distâncias exercem na contração muscular bem como verificar quais os músculos que são mais recrutados durante o nado.

## 2.Revisão de Literatura

A natação é uma modalidade desportiva individual, fechada, contínua e cíclica. É também uma modalidade mista, uma vez que o rendimento desportivo do nadador está intimamente dependente de fatores bioenergéticos e biomecânicos (Fernandes & Vilas-Boas, 2006). Apesar de algumas alterações no nome das disciplinas, atualmente são cinco as associadas a esta modalidade: natação pura, polo aquático, natação artística, saltos para a água e natação de águas abertas, sendo esta última das mais recentes disciplinas da *Fédération Internationale de Natation* (FINA), órgão que regula a natação a nível internacional e que reconheceu oficialmente a natação de águas abertas como disciplina em 1986 (Kruger et al., 2011).

As competições de natação de águas abertas têm lugar num ambiente distinto da natação pura, uma vez que a dinâmica do meio que os nadadores podem encontrar é muito variada (Neves, 2017). Esta disciplina apresenta aspetos singulares que lhe conferem carácter próprio e com necessidades de preparação diferentes (Swift, 2003). Podem apresentar diferentes tipos de partidas (com ou sem plataforma e com ou sem ordem pré-estabelecida), diferentes configurações de percurso e número variado de voltas e de marcadores de circuito, variando também as condições de abastecimento, número de nadadores a participar, estratégias e velocidades de nado. A economia motora das técnicas de nado constitui um dos parâmetros mais informativos de todos quantos podem ser avaliados em nadadores (Silva et al., 2006).

Mesmo sabendo das diferenças existentes entre natação de águas abertas e natação pura, as marcas realizadas pelos nadadores em provas de natação pura (800/1500 m livres) tornam-se um importante critério de afirmação na disciplina de águas abertas (Vorontsov, 2008), uma vez que alguns dos melhores classificados nos 10 km nos Jogos Olímpicos realizaram igualmente boas classificações nas competições de piscina (Borges, 2015).

No entanto, não há relações entre frequência gestual parcial ou médio e a classificação geral, seja na prova de 10 km ou na de 25 km. Mudanças nos valores de frequência gestual devem ser incluídos no plano de prova de

nadadores de águas abertas de acordo com as estratégias táticas e de ritmo (Rodrigues et al., 2021).

Nas configurações de drafting por trás e drafting lateral, o a experiência do nadador vai ajudar a menor fadiga e maior eficiência de natação do que na natação isolado. Os benefícios do drafting lateral sobre o nado isolado provavelmente dependerão da habilidade do nadador de tirar vantagem da onda criada pelo líder (Puce et al., 2022).

Os estudos em Águas Abertas ainda são muito limitados e centram-se fundamentalmente em fatores fisiológicos (Consumo de  $O_2$ /  $\dot{V}O_{2max}$ , gasto calórico, Hipotermia, drafting e fatos) bem como em parâmetros cinemáticos (velocidade de nado, frequência gestual, distancia de ciclo, índice de nado). De acordo com Oliveira (2018) os valores de  $\dot{V}O_2$  sofreram alterações ao longo do tempo, facto que contraria a literatura onde referem que em intensidades baixas a moderadas existe um estado de equilíbrio fisiológico do  $\dot{V}O_2$  (Baron et al., 2005; Neves, 2017; Pelarigo et al., 2016). Níveis elevados de  $\dot{V}O_2$  podem levar ao aumento do stress oxidativo em exercícios de águas abertas, e esse stress, pode afetar de forma negativa a performance e a integridade celular (Bryer & Goldfarb., 2006; Turgay et al., 2016). Um aspeto importante detetado foi a identificação de que as percentagens da braçada foram diferentes entre os braços direito e esquerdo, apresentando o direito maior tempo relativo na fase aquática da braçada quando comparado ao esquerdo e o contrário na fase aérea ao longo do percurso (Barbosa, 2016). ao nível da estratégia alimentar pode-se constatar que os nadadores optam por respeitar uma predefinição no que concerne aos momentos estabelecidos para os abastecimentos, contrariamente ao que sucede a nível internacional, onde os atletas procuram maioritariamente abastecer sempre que existir oportunidade. Ainda no que concerne a este aspeto, a principal tendência identificada entre os atletas para a composição dos abastecimentos é para uma mistura consistente de bebida isotónica com um gel de absorção lenta e rápida (Bonança, 2017).

Sendo assim, o objetivo do presente irá consistir em caracterizar o comportamento técnico e neuromuscular dos nadadores durante uma prova de águas abertas.

## 2.1 Natação de Águas Abertas

As AA reúnem um conjunto de características diferentes que aborda dois formatos competitivos: modelo composto pelas provas oficiais – Fédération Internationale de Natation, Ligue Européenne de Natation, Comité Olímpico Internacional – e um modelo intrínseco a cada atleta que agrega a capacidade do mesmo para cumprir as ultras maratonas aquáticas a que se propõe (Bonança et al., 2021).

As competições de natação de águas abertas têm lugar num ambiente distinto da natação pura desportiva, uma vez que a dinâmica do meio que os nadadores podem encontrar é muito variada (Oliveira et al., 2018)

As competições podem ser realizadas em diferentes espaços (rios, lagos, albufeiras, mar e pistas), com água salgada ou doce, em águas paradas ou com correntes e com temperaturas que podem variar entre os 16 e os 31°C (Borges et al., 2015). Podendo ainda apresentar diferentes tipos de partidas (com ou sem plataforma e com ou sem ordem pré-estabelecida), diferentes configurações de percurso e número variado de voltas e de marcadores de circuito, variando também as condições de abastecimento, número de nadadores a participar, estratégias e velocidades de nado (Oliveira et al., 2018).

Os nadadores de longa distância estão familiarizados com o treino de baixa e média velocidade, que geralmente são próximas das suas intensidades competitivas de natação, mantendo alto volume, de baixa e média intensidade durante as provas de preparação (Vanheest et al., 2004).

Em eventos de longa duração (> 30 min), os nadadores adotam um perfil uniforme ao longo da prova, selecionando a velocidade de nado que são capazes de manter até ao final da competição, principalmente, a partir do momento em que existe uma fadiga muscular e psicológica acumulada que provoca a diminuição do rendimento do nadador (Rodriguez et al., 2017).

Um nível de volume pulmonar mais baixo induz uma posição centro de gravidade vertical mais baixa e uma maior inclinação do tronco durante a natação submáxima do estilo livre. Estas mudanças são acompanhadas por uma

modulação da cinemática da técnica de modo a ultrapassar o aumento do arrasto devido a uma área frontal maior (Washino et al., 2021).

Os nadadores mais rápidos em águas abertas também mostram maior velocidade em eventos de piscina de longa distância, mas o conhecimento sobre as características de piscina versus águas abertas raramente é explorado (Baldassarre et al., 2019). Também é notório que os nadadores de águas abertas apresentam uma velocidade de nado superior em relação à Natação Pura Desportiva, nomeadamente em provas de média e longa distância (Baldassarre et al., 2019).

As necessidades de treino da natação em águas abertas levam em conta as flutuações nas velocidades de natação a partir do posicionamento dos adversários (Zacca et al., 2020).

Com um nível de volume pulmonar mais baixo durante a natação de crol induz uma posição do centro de massa vertical mais baixa que é acompanhada por uma modulação da cinemática da técnica para superar o aumento do arrasto decorrente de uma maior projeção frontal área (Washino et al., 2021).

Os nadadores realizam a prova de 5000 m no domínio de intensidade baixa-moderado. Desta forma, os treinadores devem potencializar o regime aeróbio sem descurar as restantes áreas de treino, sendo estas necessárias na resposta dos nadadores aos diferentes estímulos das competições. Em esforços prolongados, e na resposta às estratégias de provas, existe um aumento da frequência gestual e diminuição do índice de braçada, de forma a combater a fadiga inerente ao exercício, sendo necessário otimizar estes ajustes nos treinos. Os nadadores de águas abertas devem ingerir CHO para retardar o aparecimento de fadiga estando predispostos a responder a variações de intensidade no desenrolar de uma competição. No entanto, como o comportamento glicémico é individual, estes devem saber as suas necessidades para otimizar o rendimento (Oliveira et al., 2018).

## 2.2 Eletromiografia em Natação Pura Desportiva

A atividade neuromuscular é geralmente examinada através da eletromiografia (EMG), via registo direto dos potenciais elétricos dos músculos ativos. (Clarys, J., 1983). A EMG permite-nos obter uma expressão do envolvimento dinâmico de músculos específicos envolvidos na propulsão do corpo em relação à água. A EMG permite obter uma expressão do envolvimento dinâmico de músculos específicos na propulsão do corpo em relação á água, esta área de estudo é determinante para a análise e compreensão dos movimentos em natação (Conceição et al., 2013).

A eletromiografia é um método amplamente estabelecido para avaliar a fadiga muscular em termos dos componentes de frequência e amplitude do sinal EMG. Durante a fadiga, devido ao acumular de catabólitos como fosfato inorgânico e fosfocreatina, o aumento da acidez do líquido intersticial causa uma mudança na forma do potencial de ação e uma diminuição da velocidade de condução da fibra muscular (Brody et al., 1991).

A eletromiografia de superfície (sEMG) pode ser utilizada para analisar objetivamente a atividade muscular, função, coordenação e co-ativação em movimentos dinâmicos complexos (Clarys e Cabri., 1993; Caty et al., 2007).

Na técnica de crol onde a respiração é unilateral causa diferenças mensuráveis em fatores que são conhecidos por ter um impacto significativo no desempenho, nomeadamente a cinemática do braço, fluxo hidrodinâmico, estruturas, trajetória da mão e ângulos de ataque da mão (Cohen et al., 2020).

A participação muscular produzida pelos membros superiores durante o crol não representam um esforço muito elevado para os músculos envolvidos, no entanto quando a fadiga se começa a instalar devido às muitas contrações repetitivas o nadador pode não ser capaz de manter o comprimento inicial da braçada. O papel dos grupos musculares durante o crol pode ser de importância crucial para a avaliação da fadiga. Diferenças entre a duração de ativação e os períodos de repouso dos músculos, um músculo que foi ativado por um longo período de tempo vai ser fatigado para um nível superior (Stirn et al., 2013). Os treinadores devem estar cientes de que a manutenção do comprimento da braçada pode afetar negativamente o desempenho do nado, enquanto um pequeno aumento

da frequência de braçada pode apresentar um aumento significativo do tempo total da prova (Morais et al., 2020). A distância de ciclo e índice de braçada não podem ser considerados como os únicos parâmetros ligados à melhoria em crol de nadadores competindo em alto rendimento. Além disso, um aumento no comprimento de braçada associado a uma ligeira diminuição na distância de braçada não deve ser considerado ineficaz, especialmente no alto rendimento (Huot-Marchand et al., 2014). Os melhores nadadores tendem a apresentar valores de maior força para menores recrutamentos musculares implicando um padrão e um maior potencial de forças em nadadores de elite (Martens et al., 2015).

Na técnica de bruços cada nadador adaptou o seu padrão motor de uma forma única e distinta, levando a mudanças comportamentais com complexidades diferentes (Conceição et al., 2019). Tanto o treino técnico como o fisiológico em nadadores de bruços devem ter em conta o início de fadiga de forma não linear, incluindo treino específico para evitar grandes quebras de rendimento durante a prova (Conceição et al., 2014). A relação entre as variáveis cinemáticas e a concentração de lactato esteve associada claramente as alterações apresentadas na atividade neuromuscular; desta forma, o aumento dos parâmetros EMG de amplitude e frequência confirmaram o grande envolvimento dos músculos estudados dos membros superiores na técnica de bruços. Este aumento de amplitude foi também demonstrado em outros tipos de protocolos máximos utilizados em natação, nomeadamente na técnica de *crol* (Conceição et al., 2013).

Diferentes técnicas de viragem não foram distinguíveis em relação à atividade de EMG como um possível determinante da rotação e eficácia de impulsão. Deve se selecionar exercícios apropriados e projetar programas de treino para otimizar as fases de rotação e impulsão da viragem de costas para bruços em idades jovens. A ativação muscular iEMG ocorreu na viragem cruzada ao longo das fases de rotação e de desaceleração; o eretor da coluna revelou a maior atividade durante a rotação; o gastrocnémio e tibial anterior foram ativados principalmente durante o período de fase empurrar a parede; (Chainok et al., 2022).

Na técnica de mariposa, os aumentos nas amplitudes de quadril e joelho e as velocidades angulares quando a velocidade aumentou "foram refletidas em aumentos correspondentes nos níveis de atividade muscular nos músculos dos membros inferiores, nomeadamente no reto femoral, bíceps femorais, tibial anterior e gastrocnémio e músculos inferiores do tronco, abdominal e eretor da espinha (Barthels & Adrian, 1971 citado por Sander et al. 1995).

A fadiga muscular tem vindo a ser tema de enorme debate e discussão no domínio da ciência do desporto e, nomeadamente na natação (Stirn et al., 2013,). Os nadadores usam as extremidades do corpo para empurrar para fora da água e criar forças propulsivas, permitindo que o corpo seja mantido na superfície da água e se mova na direção desejada (Stirn et al., 2013; Conceição et al., 2014; Conceição et al., 2019). A propulsão durante a técnica crol é produzida principalmente pelos membros superiores; a contribuição dos membros superiores impulsionando e os membros inferiores realizando o batimento durante o crol foi estimada em 85% e 15% da propulsão global respetivamente (Deschdot et al., 1999).

### 2.3 Cinemática

Análise cinemática tridimensional de nadadores é um problema desafiador na área da biomecânica devido às condições experimentais difíceis quanto à instalação de dispositivos e captura de movimento dentro de água (Ceseracciu E. et al., 2011).

O sucesso desportivo do nadador é também determinado pela sua capacidade de se propulsionar, enquanto reduz a resistência hidrodinâmica ao seu deslocamento (Fernandes, 2013). Uma vez que a eficiência propulsiva e o arrasto hidrodinâmico são de difícil, e dispendiosa avaliação, a sua análise habitualmente recai sobre os parâmetros cinemáticos: a frequência gestual (FG) e a distância percorrida por ciclo (DC). A relação entre a FG, a DC e a  $v$ , de acordo com a distância percorrida, tem sido um dos maiores pontos de interesse na investigação biomecânica (Barbosa et al., 2010; Figueiredo et al., 2013). Outro indicador de grande utilidade para medir a capacidade técnica do nadador é o índice de braçada (IB; Costill et al., 1985), assumindo-se que quanto mais elevado o IB, melhor será a proficiência técnica do nadador (Vilas-Boas, 2013).

O desempenho e a velocidade do nado dependem da qualidade da técnica de movimento para maximizar uma aplicação de forças propulsoras e minimizar as forças resistivas (arrasto) fornecidas pela água. O processo de construção de resultados expressivos na natação de alto rendimento está intimamente relacionado à avaliação cinemática da execução do movimento (Smith et al., 2001; Toussaint et al., 2006, Figueiredo et al., 2013). O vídeo subaquático pode ser usado com sucesso para encontrar variáveis cinemáticas do movimento, como a distância média percorrida pelo corpo por cada ciclo de braçadas, a frequência e a trajetória da braçada no nado para definir um modelo para calcular a variação de movimento em função do tempo e espaço (Silvatti, 2013). Sistemas de análise bidimensional foram empregues devido à complexidade dos dispositivos e à captura de movimentos realizados na água. No entanto, é difícil obter uma estimativa mais realista devido à natureza multidimensional dos movimentos realizados durante o nado, especialmente durante as ações realizadas na fase subaquática (Zaïdi et al., 2010; Ceseracciu et al., 2011; Puel et al., 2012). No que diz respeito ao comportamento do nado com base em elementos tridimensionais, várias variáveis foram descritas (McCabe e Sanders, 2012; Puel et al., 2012; Figueiredo, Sanders, et al., 2013; Olstad et al., 2016), mas ainda são necessários estudos que diferenciem essas variáveis entre nadadores com melhor desempenho e nadadores com desempenho menos expressivo.

O índice de braçada (IB), a velocidade (V), a distância do ciclo (DC) e a frequência gestual (FG) são indicadores úteis e confiáveis da técnica de natação (Smith et al., 2002). A natação depende da produção de força propulsiva e da redução do arrasto hidrodinâmico. Produzir alta força propulsiva e reduzir o arrasto oposto é necessário para atingir uma velocidade específica (Toussaint e Beek, 1992). A velocidade média é a melhor maneira de melhorar o desempenho dos nadadores porque eles tentam percorrer uma distância específica o mais rápido possível (Pendergast et al. 2006), o que resulta do produto de FG e DC (Pendergast et al. 2006). Por outro lado, a relação entre FG e DC é demonstrada pela variabilidade entre nadadores (Chollet et al. 1997; Seifert et al., 2007, Barbosa et al. 2010).

Como os braços, pernas e tronco causam variações Intra cíclicas de velocidade, o nadador não se move em  $v$  constante. A propulsão média é igual ao arrasto ativo no caso de  $v$  constante. O arrasto ativo é proporcional a  $v$  ao quadrado. A energia mecânica é usada para resistir aos fatores externos. No entanto, como a mão do nadador não possui um ponto de impulso fixo para impulsionar o corpo para frente, apenas uma parte dessa força externa ajuda a superar o arrasto ativo. A energia cinética transmitida à água é uma forma desperdiçada de força mecânica aplicada pela mão na água (Zamparo et al. 2002, 2011; Toussaint & Truijens, 2005). Além disso, a energia interna é gerada para acelerar os membros e desacelerá-los em relação ao centro de massa. Portanto, a potência utilizada para vencer a força de arrasto, a potência cinética e a potência interna é a soma da potência mecânica total produzida (Zamparo et al., 2011, 2002). Assim, a relação entre a potência mecânica total produzida e a potência usada para vencer o arrasto é conhecida como eficiência propulsiva (Toussaint et al., 1988, 1990). Um nadador mais treinado e com maior eficiência propulsora pode usar mais energia mecânica para vencer o arrasto do que um nadador menos treinado.

A velocidade em competições de natação de longa distância tem sido identificada como um determinante do sucesso, especialmente quando os nadadores têm capacidades individuais muito semelhantes (Lipinska, et al., 2009; Mauger, et al., 2012 Rodriguez, et al., 2018).

## 2.4 Apresentação do Tema – Problema

Atualmente é cada vez mais importante caracterizar as Águas Abertas visto que se trata de uma disciplina da natação que tem vindo a crescer, sobretudo em termos de visibilidade através do incremento do número de praticantes. Assim, o treino para esta disciplina merece especial atenção na preparação de provas superiores aos 1500 metros nadados, tipicamente, em piscina.

No quadro da investigação na área de natação de AA têm sido escassos os estudos em Natação de Águas Abertas, tal como foi apresentado anteriormente, no entanto no domínio da biomecânica da natação, não existem estudos que caracterizem o comportamento neuromuscular e cinemático numa prova de águas abertas. Assim é fundamental, conhecer os efeitos de uma prova de águas abertas na componente cinemática e neuromuscular.

## 2.5 Objetivos do Estudo

- Verificar qual a participação muscular ao longo de uma prova de águas abertas.
- Comparar a participação muscular ao longo dos percursos de 1000m da prova de águas abertas.
- Analisar as alterações dos parâmetros cinemáticos na prova de 5km em águas abertas.
- Relacionar as alterações cinemáticas e neuromusculares ao longo da prova de 5km.

## 2.6 Problema de Estudo

Questão: Qual a participação muscular de um nadador de águas abertas ao longo da prova de 5km, e quais as implicações nos parâmetros cinemáticos?

### 3. Material e Métodos

#### 3.1 Caracterização dos Participantes

No presente estudo participaram 9 nadadores masculinos de nível nacional filiados na FPN com experiência em águas abertas. As suas principais características são apresentadas na Tabela 1. Para se determinar o peso, foi usada uma Tanita (Fitscan bc558, USA). Uma fita métrica foi usada para calcular a altura e envergadura.

**Tabela 1 Caracterização Antropométrica dos Nadadores**

<b>Idade (anos)</b>	25.4 ± 11.9
<b>Massa Corporal (kg)</b>	75.9 ± 9.0
<b>Altura (cm)</b>	180.7 ± 6.7
<b>Envergadura (cm)</b>	185.6 ± 10.3
<b>Experiência de Treino (anos)</b>	7

#### 3.2 Procedimento Experimental

O estudo realizado consistiu numa simulação de 5000 m Livres em ambiente favorável a competições de Águas Abertas, mais especificamente num lago. O percurso tinha um tamanho aproximado de 500 m onde cada nadador teria de fazer duas voltas á máxima velocidade que conseguiam simulando uma situação real de prova de 5000 m. Cada nadador executou o percurso sozinho. Os dados que são apresentados foram retirados de um trajeto de 60m que estava marcado com uma boias de marcação (Figura 1).

Os nadadores realizaram a partida dentro de água e foi feito um intervalo de 30 segundos (s) cada 1000 m para verificação dos elétrodos, hidratação devido á temperatura da água e por estarem a nadar de fato de modo a proteger os elétrodos. Durante as pausas não foi efetuado qualquer abastecimento, condições que os atletas encontram durante as provas da mesma distância. Este método de avaliação dos nadadores esteve de acordo com estratégias adotadas em prova pelos mesmos e também estratégia já utilizada no Campeonato do Mundo e Jogos Olímpicos (Baldassarre et al., 2017; Rodriguez & Veiga, 2017).

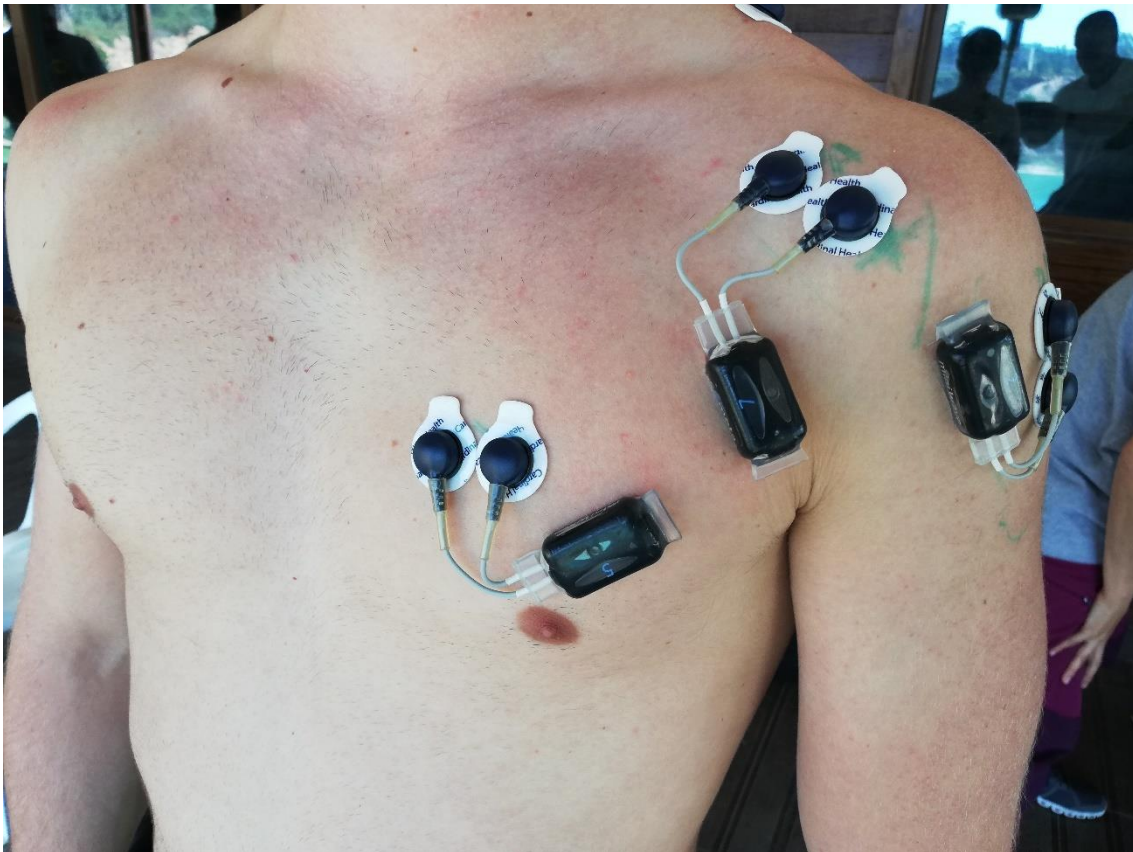


**Figura 1** - Localização e percurso

O vento registado em cada dia de recolha foi de  $15.7 \pm 6.7$  km/h. A temperatura do ar foi de  $23 \pm 4.7$  °, e da água foi de  $25 \pm 0.8$  °.

Os procedimentos usados de EMG foram inicialmente para análise da atividade muscular, cada nadador foi sujeito a um conjunto de procedimentos, nomeadamente a preparação da pele, que consistiu em raspar a pele nas zonas de implementação dos elétrodos, desgastando-a e eliminando os pelos no sentido de melhorar a adesão à superfície da pele (Hermens et al., 2000). Existem duas principais técnicas: a fricção/ abrasão, que consiste em raspar a pele, e a limpeza com álcool ou similar (Basmajian & De Luca, 1985), no sentido de diminuir a impedância elétrica. Desta forma conseguimos melhorar a qualidade do sinal electromiográfico, tendo uma menor interferência reduzindo o ruído no sinal (Hermens et al., 2000). A atividade muscular foi medida (sEMG) com um sistema EMG sem fio com acelerômetros integrados (Miniwave, Cometa, Milano, Itália; software EMGandMotionsTools 8.7.6.0), com sondas equipadas com memória de 7 gramas e um taxa de amostragem de 2000Hz a 16 bits. Os sensores EMG (Kendall™, eletrodos de ECG, 57x34mm) forão

posicionados ao longo da linha média longitudinal do músculo alvo de acordo com as recomendações do projeto Surface Electromyography for the Non-Invasive Assessment of Muscles (SENIAM Project, 2009). Os músculos analisados ficaram todos no lado esquerdo: *Upper Trapezius*(UP); *Latissimus dorsi*(LD); *Pectoralis Major*(PM); *Posterior Deltoid*(PD); *Anterior Deltoid*(AD); *Triceps Brachii*(MT); *Biceps Brachii*(BB). Cada sujeito realizou um pré-teste de Contração Voluntária Máxima (CVIM) para cada um dos músculos analisados, uma vez que é um dos métodos mais utilizados de normalização do sinal EMG (Konrad, 2005). Após a sequência inicial de aquecimento, o teste CVM consistiu em cada sujeito realizar 3 repetições à máxima força isométrica durante 3-5 segundos, com intervalo de 30 a 60 segundos entre cada repetição. (Konrad, 2005).



**Figura 2** – Colocação elétrodos parte anterior do corpo *Pectoralis Major*, *Posterior Deltoid*, *Anterior Deltoid*.



**Figura 3** – Colocação Eléttodos na parte posterior do atleta *Upper Trapezius*, *Triceps Brachii*, *Latissimus dorsi*.

A FC foi medida através de uma banda cardíaca Garmin HRM-Swim™ ligada a um relógio Garmin fenix 5X Sapphire Edition Multi-Sport Training GPS Watch fornecendo um indicador mais exato do mecanismo central do esforço a que o nadador está sujeito (Fernandes, 2013), ao longo dos 5 kms realizados por cada nadador em estudo (Figura 4.)



**Figura 4**– Relógio e fita do cardiofrequencímetro

No presente estudo as variáveis biomecânicas sujeitas as avaliações foram a V, DC, IB, FG (Oliverira et al., 2018). Para calcular as variáveis foram calculadas com recurso a 2 câmaras máquinas fotográficas (Panasonic Lumix, DC – FZ 1000II (Japan)) que permitam tirar fotos bem como filmar com boa qualidade ao nível dos pixels em ambos os modos e com a maior quantidade de frames por segundo (Figura 5). A primeira camara estará a uma distância de 50 metros da linha de água numa posição elevada onde fará a filmagem de todo o percurso. A segunda camara estará a uma distância de 10 metros da linha de água, mas devido ao tipo de terreno para filmar todo o percurso bem como analisar a técnica de nado mais facilmente.



**Figura 5-** Máquina Filmar *Panasonic Lumix, DC – FZ 1000II*

A FG foi calculada pelo quociente entre o número de ciclos realizados pelos membros superiores numa determinada distância e o tempo gasto nesse percurso (Maglischo, 2003).

$$\text{Equação 1- } FG = 3 \cdot t3-1$$

A FG foi determinada recorrendo-se a um Cronómetro (3 x 300M Stopwatch, Finis, California, Estados Unidos), permitindo o seu cálculo automático através da análise de três ciclos.

A DC foi sendo considerada como um dos fatores com maior preponderância para se alcançar o sucesso em competição (Toussaint et al., 2006) e foi calculada através da razão entre  $v$  e FG (Craig & Pendergast, 1979).

$$\text{Equação 2 - } DC = v * FG$$

O IB foi definido pelo produto da DC com a  $v$  (Costill et al., 1985).

$$\text{Equação 3 - } IB = DC * v$$

Os tempos finais e parciais de cada nadador foram obtidos por cronometragem manual (3 x 300M Stopwatch, Finis, Califórnia, Estados Unidos) (Figura 6)., a  $v$  foi calcula através do quociente entre a distância percorrida e o tempo gasto a percorrer essa distância (Equação 4.)

$$\text{Equação 4 - } V = \text{distância} / \text{tempo}$$



**Figura 6-** Cronometro Finis

### 3.3 Análise Dados de Eletromiografia

Cada vídeo foi sincronizado com o programa de EMG (EMG and Motion Tools). Os vídeos foram conectados com os eventos. Neste estudo a sincronização com conseguida através da identificação dos picos que eram visíveis no sinal do acelerómetro, com uma exatidão de 33,3ms num frame de video. O processamento do sinal foi iniciado com a aplicação de filtros ao ficheiro de MVC. Os sensores de EMG receberam o sinal EMG em bruto, as primeiras frequências foram removidas através dos seguintes filtros: (i) Filtro Low Pass com o corte de frequência de 400Hz e um filtro Butterworth com uma ordem de 4; (ii) Filtro High Pass com um corte de frequência de 20Hz e um filtro Butterworth com uma ordem de 4; De seguida foi feita uma retificação ao sinal, foi aplicado uma suavização no sinal e a Root mean Square (RMS) envelope com uma janela de 50ms. Os valores de Contração Voluntária Máxima MVC ( $\mu\text{V}$ ) para cada musculo foram calculados e apresentados em relação com a percentagem do MVC (%MVC). Os mesmos filtros foram aplicados ao tratamento de cada ficheiro de cada nadador e a aplicação do ficheiro de MVC a cada ficheiro. Por fim os ciclos médios de cada ficheiro foram exportados para ficheiro Excel.

### 3.4 Analise Estatística

O programa de estatística Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versão 28.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) foi usado para análise estatísticas.

Na análise exploratória foram calculados parâmetros de tendência central (média) e dispersão (desvio padrão) para todas as variáveis, tendo sido verificados os pressupostos de normalidade através do teste de Shapiro-Wilk. Posteriormente, realizou-se uma análise inferencial onde se recorreu ao teste ANOVA para medidas repetidas, para comparar as variáveis nas repetições de 1000 m foram usados para determinar os parâmetros cinemáticos. O teste Post Hoc de Bonferroni foi utilizado para identificar diferenças entre as distâncias sempre que fosse obtido um valor de F significativo. O eta quadrado ( $\eta^2$ ) teste foi utilizado para quantificar a percentagem de variância explicada por cada covariável (tamanho de efeito) e interpretamos como:  $0 < \eta^2 < 0.04$  efeito trivial;  $0.04 \leq \eta^2 \leq 0.24$  pequeno;  $0.25 \leq \eta^2 < 0.64$  moderado;  $\geq 0.64$  efeito grande (Ferguson, 2009).

Nos dados de eletromiografia foi obtido uma distribuição não normal que requer o uso de um teste não paramétrico. Os resultados foram expressos em % MVC. Devido á distribuição ser não normal foi usado o teste de Mann-Withney U para avaliar as diferenças entre as fases do ciclo de braçada (propulsão, recuperação), o teste de Friedman foi usado para detetar diferenças significativas nos parâmetros observados. A significância estatística foi definida em ( $p \leq 0.05$ ).

## 4.Resultados

### 4.1 Parâmetros Cinemáticos

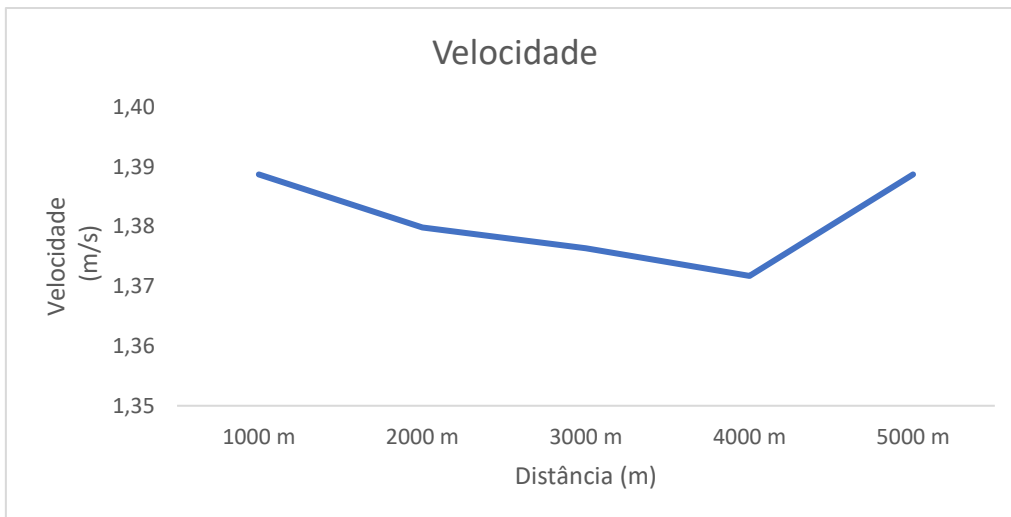


Gráfico 1 - Velocidade Média dos Nadadores (N= 9) ao longo dos 5 kms

No gráfico 1 podemos verificar que a v não apresentou diferenças significativas, mas teve um ligeiro decréscimo aos 1000m depois estabilizou nos 2000 e 3000 depois verificou-se um pequeno aumento nos últimos 2000 mantendo-se constante ao longo da prova ( $F=0.21$ ,  $p=0.92$ ,  $\eta^2=0.03$ ).

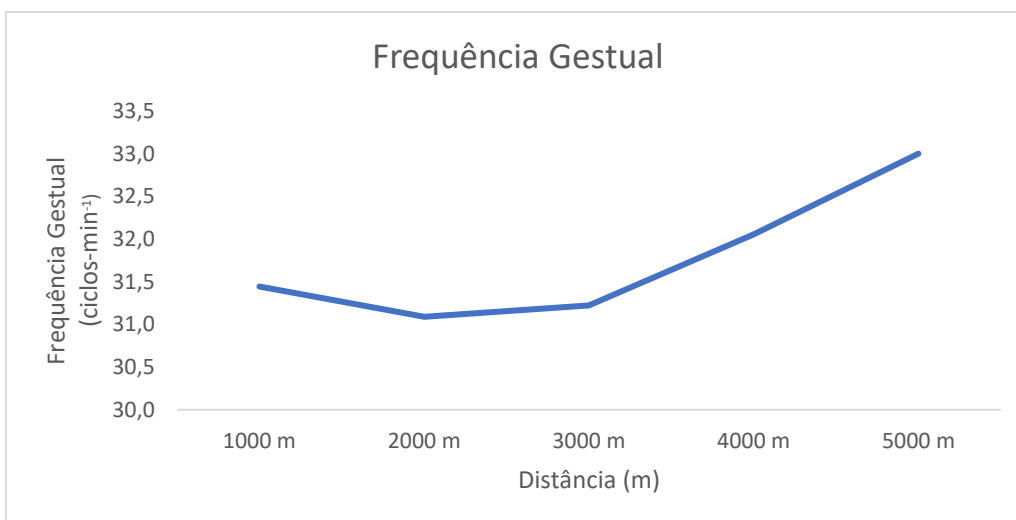
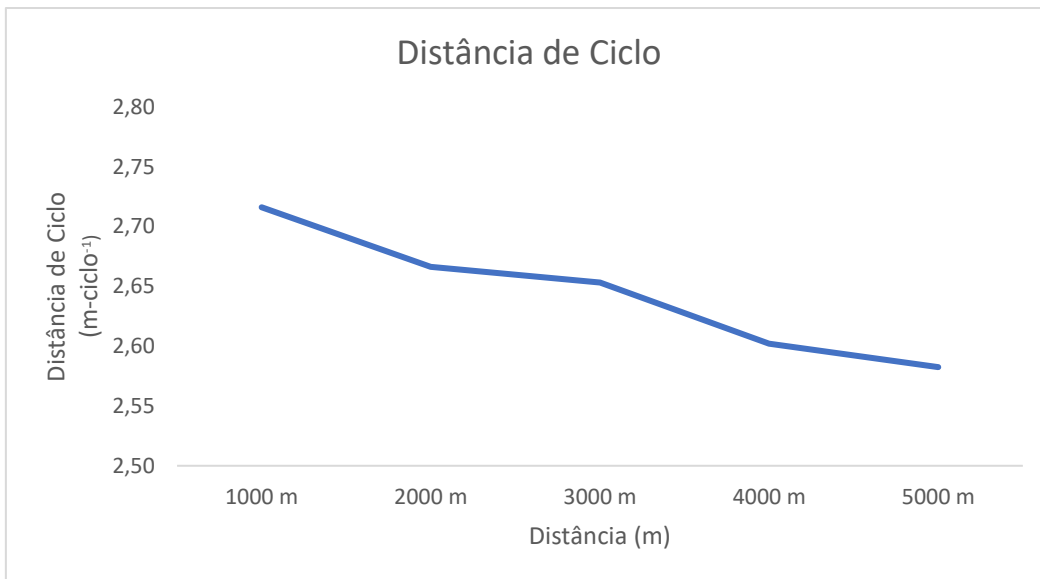


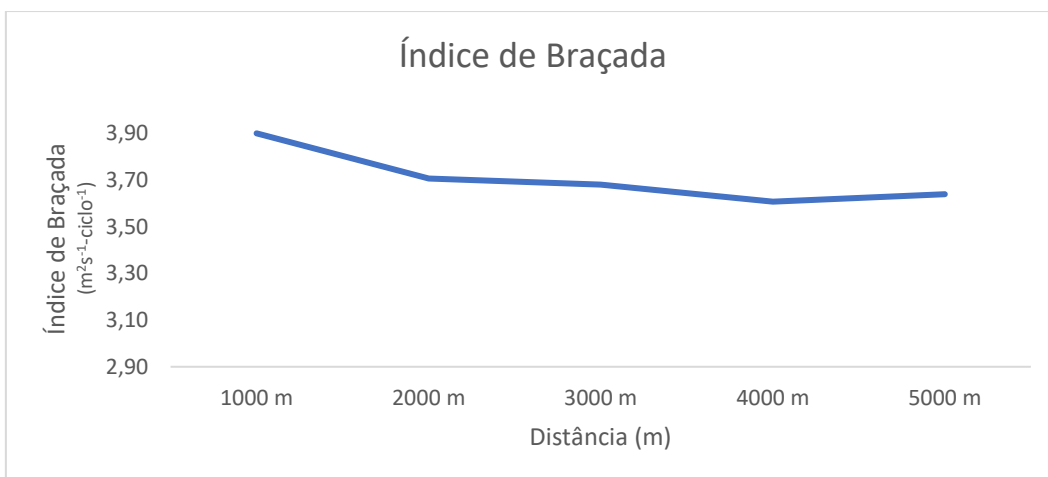
Gráfico 2– Frequência Gestual Média dos Nadadores

Podemos verificar que no gráfico 2 a FG teve um pequeno decréscimo aos 1000m onde de seguida estabilizou nos 2000m e 3000m e de seguida aumentou a partir dos 4000m da prova com pequeno efeito, essencialmente, na fase final ( $F=2.71$ ,  $p \leq 0.05$ ,  $\eta^2=0.25$ ).



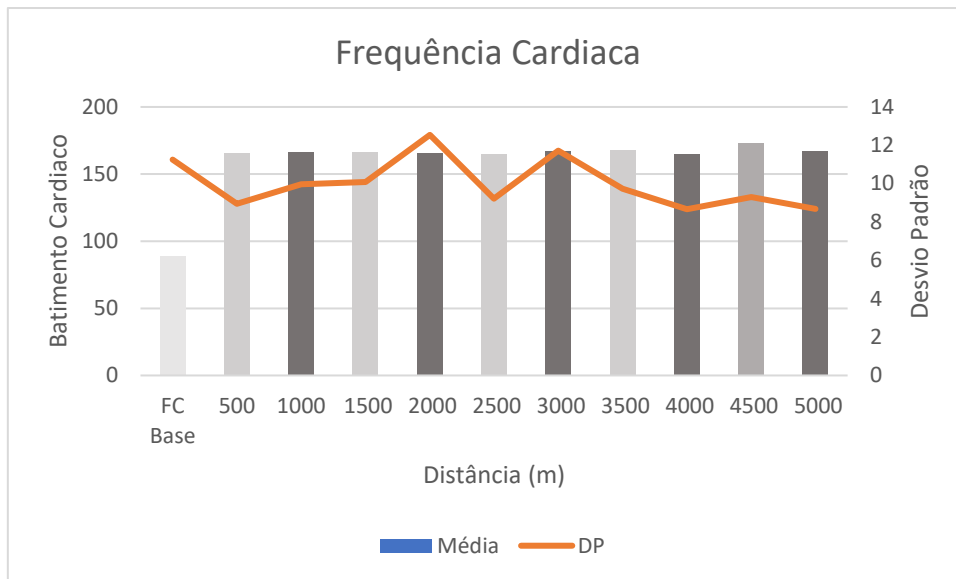
**Gráfico 3**– Distância de Ciclo Média dos Nadadores

No gráfico 3 verificamos que a DC diminuiu a cada em cada percurso de 1000m apresentado diferenças significativas ( $F=3.41$ ,  $p \leq 0.05$ ,  $\eta^2=0.30$ ).



**Gráfico 4** – Índice de Braçada Média dos Nadadores

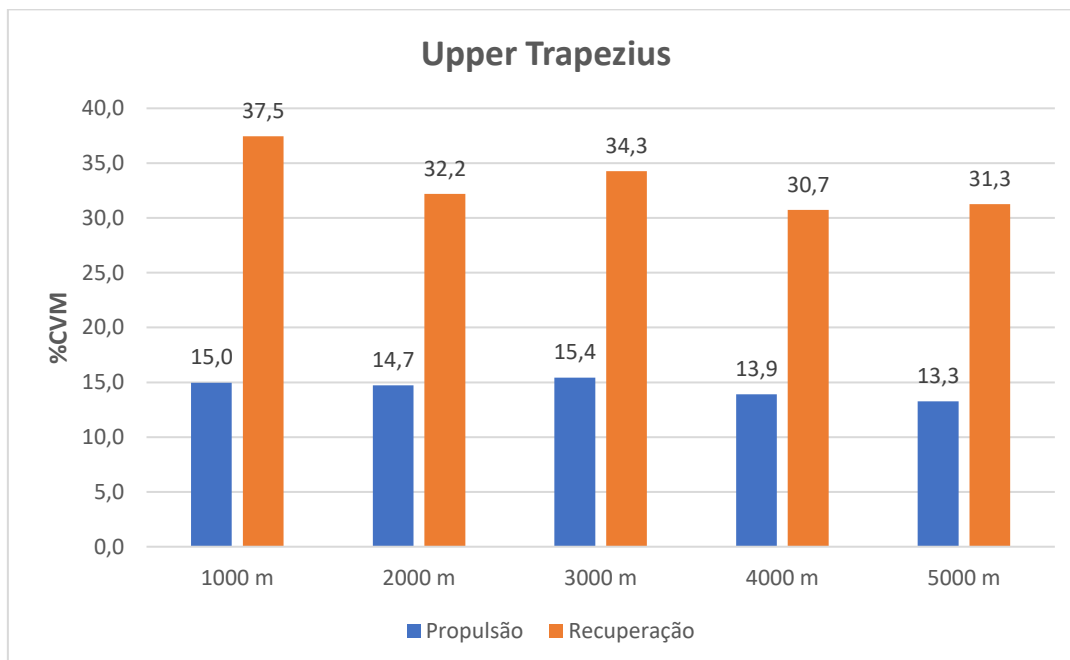
De acordo com o gráfico 4 verificamos que em termos de valores médios, a IB apresenta uma ligeira diminuição aos 1000m onde se seguida estabiliza aos 2000m e 3000m, aos 4000m houve novo decréscimo e de seguida um aumento aos 5000m em termos de valores médios ao longo da prova ( $F=3.29$ ,  $p = 0.08$ ,  $\eta^2=0.29$ ).



**Gráfico 5** – Frequência Cardíaca Média dos Nadadores

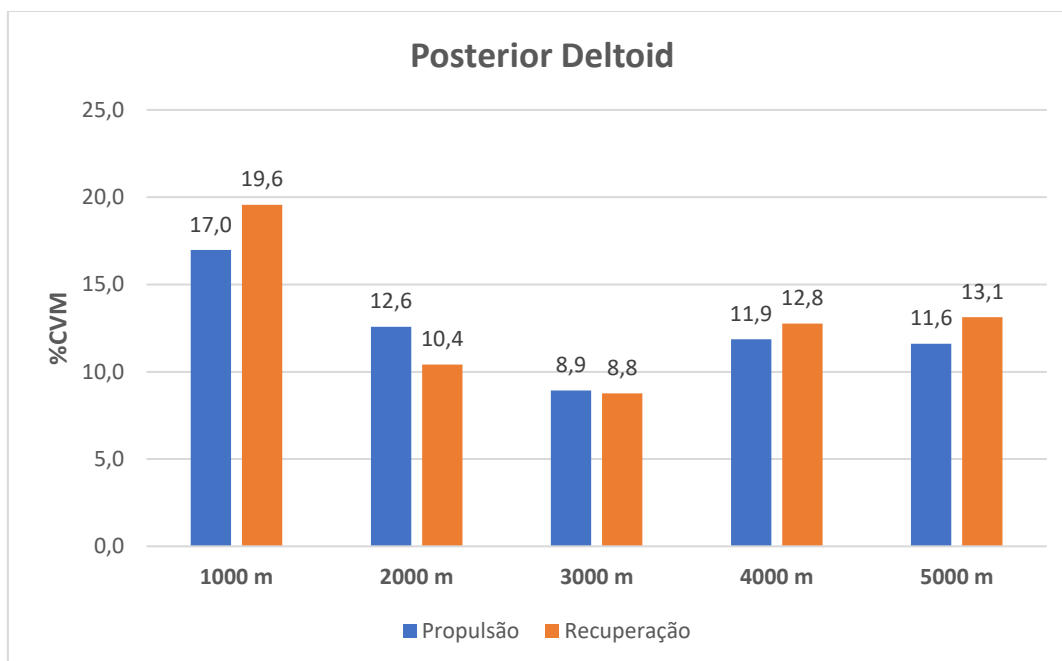
No gráfico 5 podemos ver que a média da FC dos nadadores não sofre grandes alterações ao longo de todo o percurso exceto aos 4500m com um ligeiro aumento da média

#### 4.2 Atividade Neuromuscular



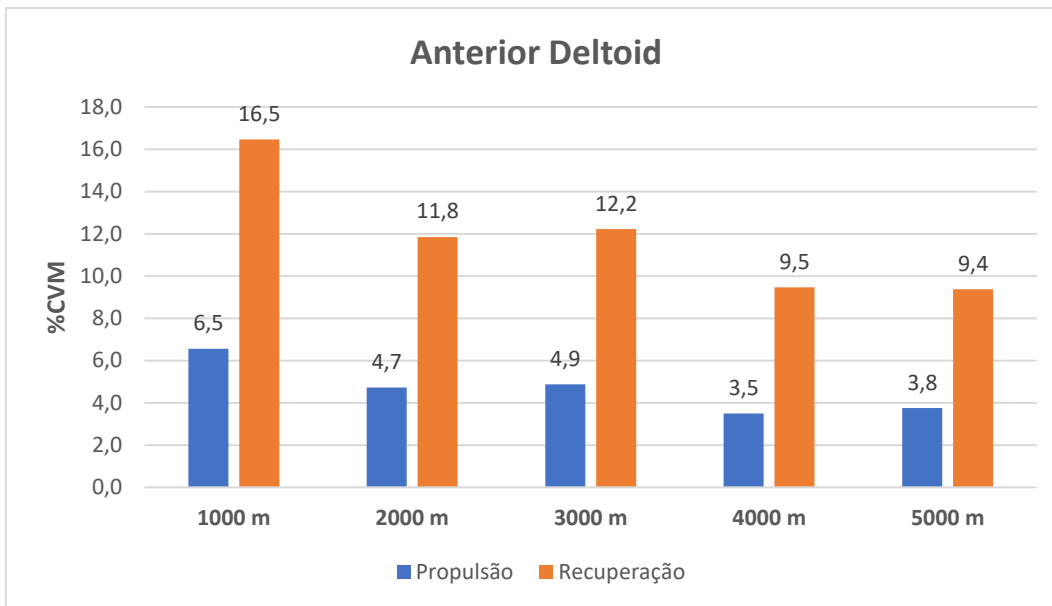
**Gráfico 6** – % Média Atividade Muscular do Músculo Upper Trapezius em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.

No gráfico 6 verificamos que o UT tem maior participação muscular na fase de recuperação. Ativa mais na recuperação entre os 13% no início dos 5km e os 18% no final da prova em relação à propulsiva.



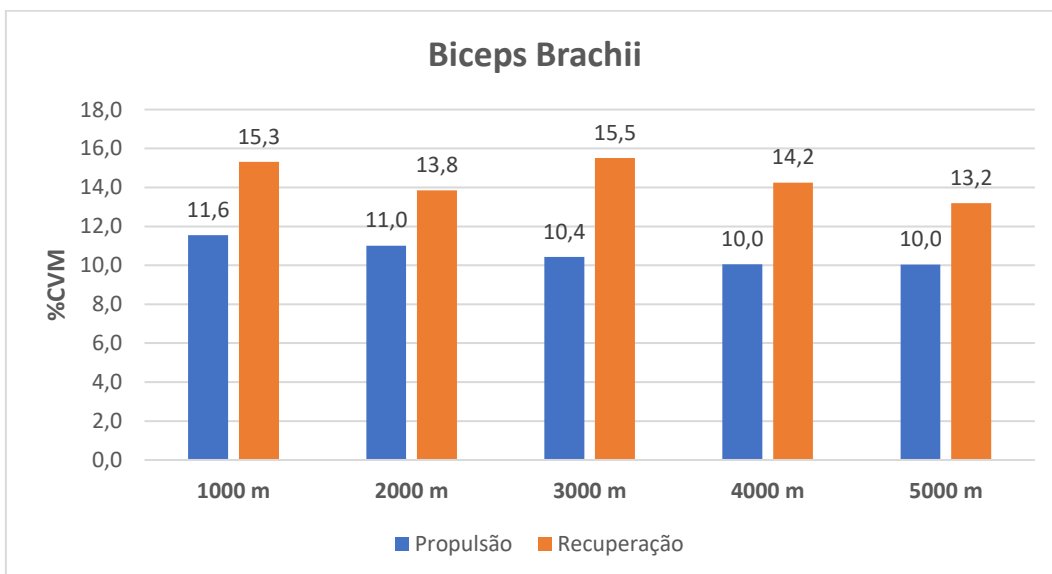
**Gráfico 7- % Média Atividade Muscular do Músculo Posterior Deltoid em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.**

No gráfico 7 verificamos que o PD tem um comportamento semelhante entre fase de propulsão e recuperação. Porém, é mais ativado na recuperação aos 1000 m, 4000 m e 5000 m. Este grupo muscular tem uma quebra na contração de cerca 4,4% na propulsão e de mais de 9% na recuperação após os 1000m



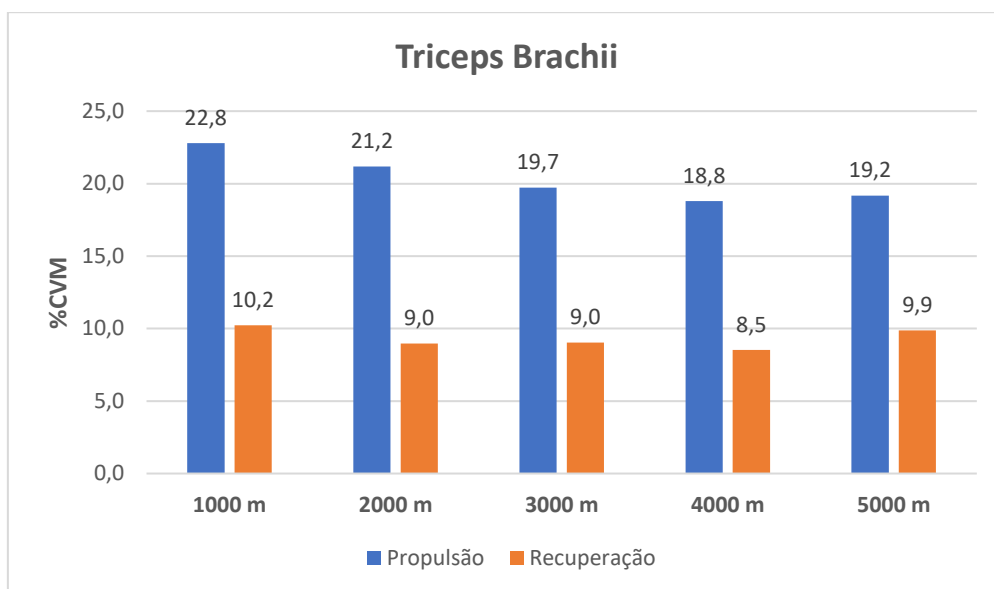
**Gráfico 8 - % Média Atividade Muscular do Músculo Anterior Deltoid em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.**

No gráfico 8 demonstra que o AD tem uma maior participação muscular na fase de recuperação em comparação com a fase propulsiva. Este grupo muscular teve um decréscimo após os 1000m de seguida teve um ligeiro aumento aos 3000m e depois voltou a decrescer até ao fim dos 5km



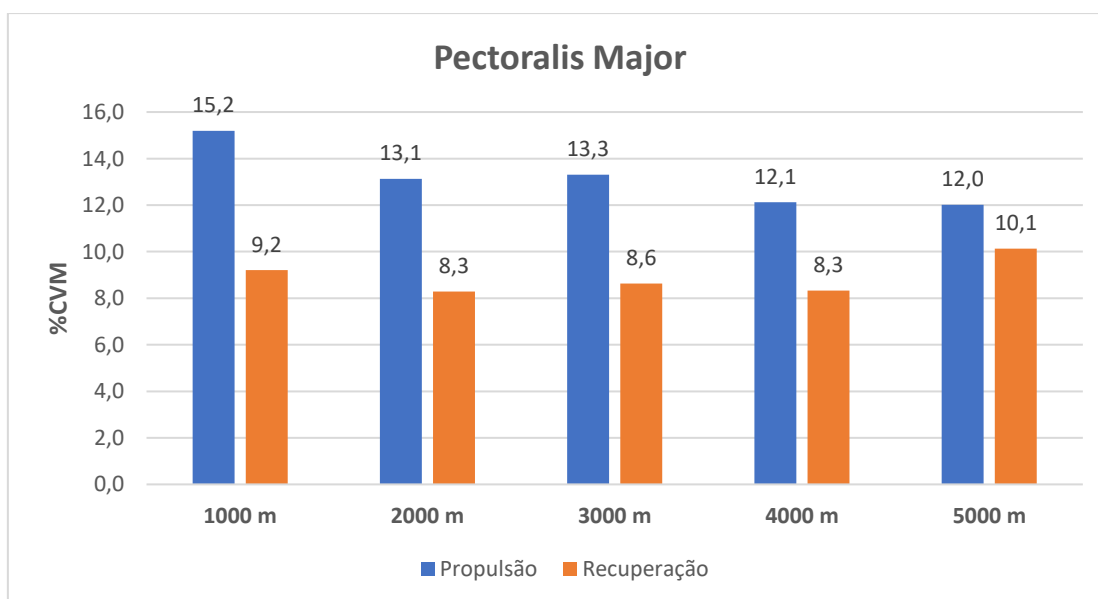
**Gráfico 9- % Média Atividade Muscular do Músculo Biceps Brachii em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms.**

No gráfico 9 o BB apresenta uma maior ativação muscular na fase de recuperação. Na fase de propulsão teve um decréscimo cada 1000m até aos 5km. Na recuperação teve uma pequena queda de 1,5% aos 2000m de seguida voltou a aumentar aos 3000m e depois foi sempre a decrescer até aos 5km.



**Gráfico 10- % Média Atividade Muscular do Músculo Triceps Brachii em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms**

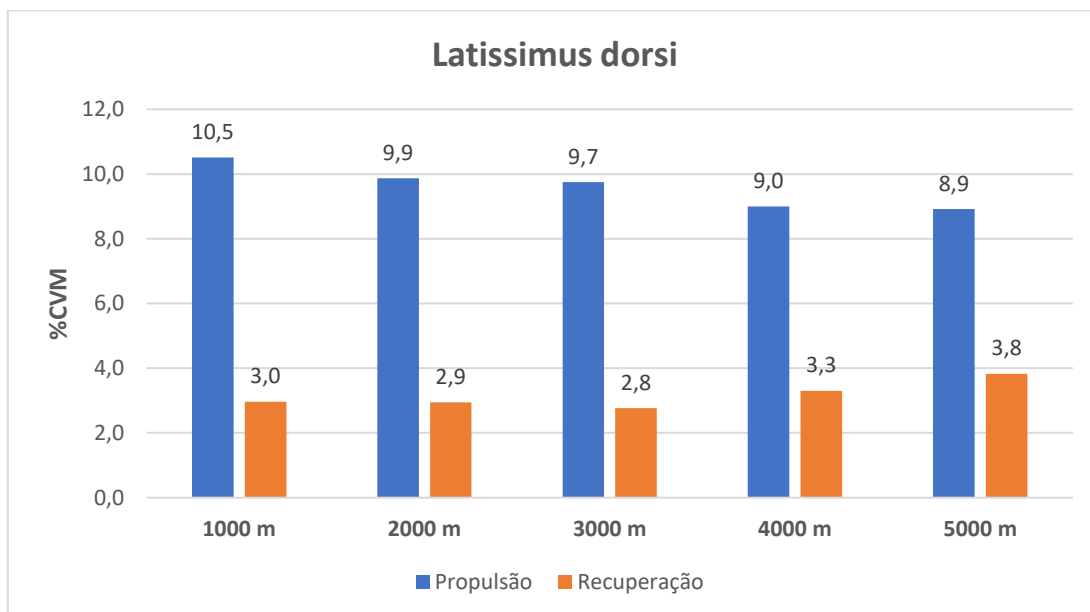
No gráfico 10 o TB apresenta médias superiores de participação muscular na fase de propulsão. O músculo teve um decréscimo de contração desde o início até aos 4000m e depois um aumento aos 5000m na fase propulsiva.



**Gráfico 11 - % Média Atividade Muscular do Músculo Pectoralis Major em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms**

No gráfico 11 demonstra que o PM tem uma maior participação muscular na fase propulsiva. Este musculo teve um decréscimo na contração apos os 1000m estabilizando aos 2000m e 3000m decrescendo para os 4000m e estabilizou novamente até ao final

Deve-se realçar um aumento ligeiro no final da prova na fase de recuperação.



**Gráfico 12- % Média Atividade Muscular do Músculo Latissimus dorsi em relação à Contração Voluntária isométrica máxima ao longo dos 5kms**

O LD tem uma maior participação muscular na fase propulsiva tal como verificado no gráfico 12. Teve um decréscimo desde o início até ao fim dos 5km na fase propulsiva. Na fase de recuperação teve estabilizado ate aos 3000m e depois começou a aumentar muito levemente ate aos 5kms

Tabela 2- Média  $\pm$  Desvio padrão da ativação muscular (%MVC) nas fases de propulsão e recuperação para comparação entre cada volta

Fase	Músculos	1000 m	2000 m	3000 m	4000 m	5000 m	p-value
Propulsão (%)	UT	14.96 $\pm$ 15.09	14.74 $\pm$ 6.78	15.44 $\pm$ 9.89	13.92 $\pm$ 9.08	13.25 $\pm$ 7.32	0.95
	PD	<b>16.98<math>\pm</math>4.63</b>	<b>12.58<math>\pm</math>8.59</b>	<b>8.93<math>\pm</math>4.99</b>	<b>11.86<math>\pm</math>6.77</b>	<b>11.60<math>\pm</math>7.80</b>	<b>0.04*</b>
	AD	<b>6.55<math>\pm</math>5.85</b>	<b>4.72<math>\pm</math>3.79</b>	<b>4.88<math>\pm</math>3.99</b>	<b>3.49<math>\pm</math>2.20</b>	<b>3.75<math>\pm</math>2.58</b>	<b>0.05*</b>
	BB	11.55 $\pm$ 3.40	11.01 $\pm$ 4.15	10.43 $\pm$ 3.24	10.04 $\pm$ 2.78	10.03 $\pm$ 2.61	0.22
	TB	22.80 $\pm$ 7.10	21.19 $\pm$ 7.53	19.71 $\pm$ 6.87	18.80 $\pm$ 8.09	19.16 $\pm$ 9.09	0.46
	PM	15.20 $\pm$ 8.33	13.13 $\pm$ 6.14	13.30 $\pm$ 6.12	12.12 $\pm$ 5.18	12.02 $\pm$ 5.26	0.25
	LD	10.51 $\pm$ 4.36	9.87 $\pm$ 4.67	9.75 $\pm$ 4.48	9.00 $\pm$ 4.04	8.91 $\pm$ 3.91	0.32
Recuperação (%)	UT	37.46 $\pm$ 38.09	32.18 $\pm$ 20.29	34.28 $\pm$ 19.28	30.73 $\pm$ 17.19	31.25 $\pm$ 16.57	0.37
	PD	<b>19.56<math>\pm</math>7.52</b>	<b>10.41<math>\pm</math>4.63</b>	<b>8.77<math>\pm</math>6.77</b>	<b>12.77<math>\pm</math>9.29</b>	<b>13.13<math>\pm</math>10.75</b>	<b>0.01*</b>
	AD	<b>16.46<math>\pm</math>10.55</b>	<b>11.84<math>\pm</math>8.54</b>	<b>12.22<math>\pm</math>8.89</b>	<b>9.47<math>\pm</math>8.36</b>	<b>9.37<math>\pm</math>8.14</b>	<b>0.01*</b>
	BB	15.31 $\pm$ 9.09	13.84 $\pm$ 7.13	15.52 $\pm$ 9.64	14.25 $\pm$ 8.11	13.19 $\pm$ 6.19	0.21
	TB	10.22 $\pm$ 5.24	8.97 $\pm$ 5.60	9.04 $\pm$ 5.26	8.52 $\pm$ 4.60	9.87 $\pm$ 5.44	0.10
	PM	9.21 $\pm$ 7.97	8.28 $\pm$ 4.13	8.63 $\pm$ 4.71	8.33 $\pm$ 4.63	10.12 $\pm$ 7.12	0.91
	LD	2.96 $\pm$ 1.35	2.94 $\pm$ 1.37	2.77 $\pm$ 1.50	3.30 $\pm$ 2.26	3.83 $\pm$ 2.38	0.13

\* Diferenças significativas estabelecidas por  $p < 0.05$

Na tabela 2 O UT apresenta diferenças significativas entre a fase de propulsão e recuperação desde dos 2000 m até aos 5000 m, visto que este músculo é mais ativado na fase de recuperação em comparação à propulsiva. Em relação ao UT, não houve diferenças significativas na ativação muscular em função da distância, tanto na fase de propulsão ( $p = 0.95$ ) como de recuperação ( $p = 0.37$ ).

O BB, o LD e o AD também revelam diferenças significativas entre fases de ciclo ao longo da prova.

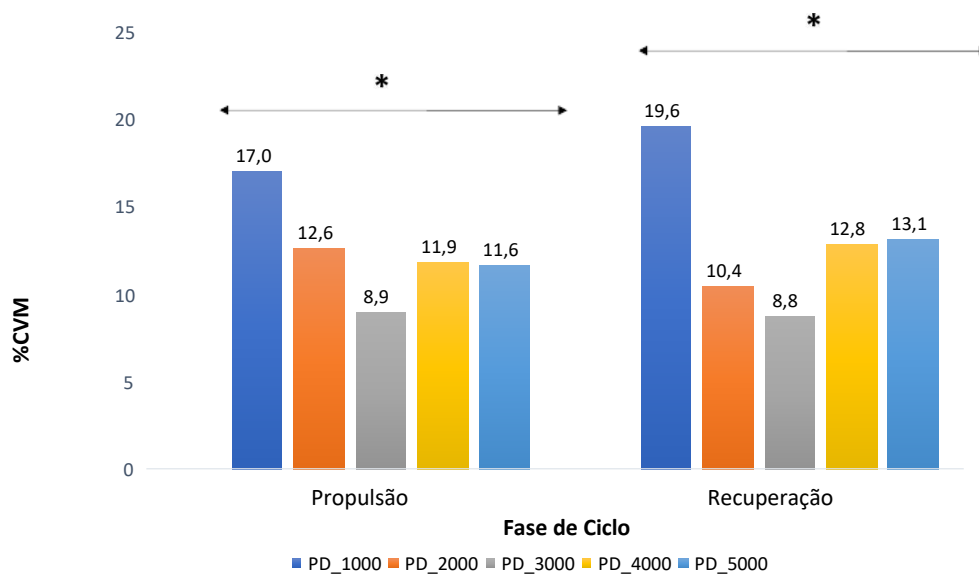
Em relação ao BB, não houve diferenças significativas na ativação muscular em função da distância, tanto na fase de propulsão ( $p = 0.22$ ) como de recuperação ( $p = 0.21$ ).

Em relação ao LD, não houve diferenças significativas na ativação muscular em função da distância, tanto na fase de propulsão ( $p = 0.32$ ) como de recuperação

( $p=0.13$ ). [Apresenta diferenças significativas entre os 1000 m e 4000 m na fase de propulsão; entre os 2000 m e 5000 m; os 3000 m e 5000 m na fase de recuperação].

Em relação ao TB, não houve diferenças significativas na ativação muscular em função da distância, tanto na fase de propulsão ( $p= 0.46$ ) como de recuperação ( $p=0.098$ ). [Na fase de recuperação, ocorreu diferenças entre os 1000 m, os 2000 m e os 4000 m].

O PM não apresentou diferenças significativas na ativação muscular em função das distâncias na fase de propulsão ( $p= 0.25$ ). [Em comparação com cada volta, salienta-se particularmente, diferenças entre os 1000 m e os 5000 m]. A fase de recuperação também não apresenta diferenças ( $p=0.91$ ).

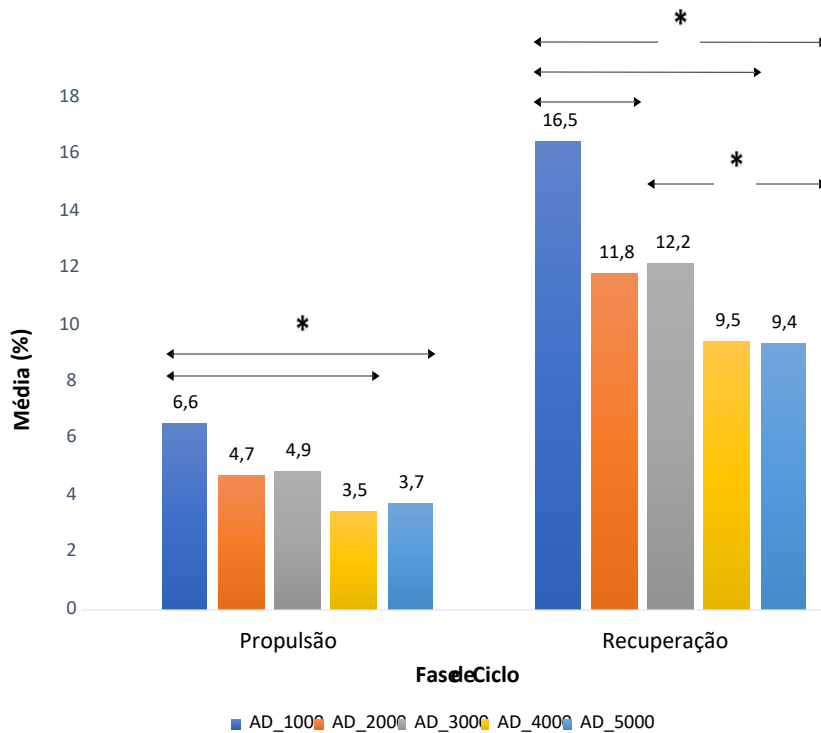


(\*) Diferenças significativas

**Gráfico 13-** Diferenças significativas entre a ativação muscular do PD em função da distância para  $p \leq 0.05$

Diferenças significativas entre a ativação muscular do PD (fase de propulsão) em função da distância ( $p=0.04$ ). A ativação muscular difere significativamente

entre os 1000 m e os 2000 m ( $p=0.05$ ); os 3000 m ( $p= 0.01$ ); os 4000m ( $p=0.02$ ); e os 5000 m ( $p=0.01$ ). Apresenta diferenças também na fase de recuperação ( $p=0.01$ ), essencialmente entre os 1000 m e as restantes voltas.



(\*) Diferenças significativas

**Gráfico 14** - Diferenças significativas entre a ativação muscular do AD em função da distância

O gráfico 14 demonstra que os resultados apresentam diferenças significativas entre a ativação muscular do AD (fase de propulsão) em função da distância ( $p=0.05$ ). A ativação muscular difere significativamente entre os 1000 m e os 4000 m ( $p= 0.01$ ) e os 1000 m e os 5000 m ( $p=0.02$ ). A fase de recuperação também apresentou diferenças significativas em função da distância ( $p=0.01$ ), especialmente, entre os 1000 m e 2000 m ( $p=0.04$ ); os 4000 m ( $p=0.00$ ); os 5000 m ( $p=0.00$ ). Obteve-se diferenças também entre os 3000 m e os 5000 m ( $p=0.05$ ).

Os resultados apresentam diferenças significativas entre a ativação muscular do AD (fase de propulsão) em função da distância ( $p=0.05$ ). A ativação muscular difere significativamente entre os 1000 m e os 4000 m ( $p= 0.01$ ) e os 1000 m e

os 5000 m ( $p=0.02$ ). A fase de recuperação também apresentou diferenças significativas em função da distância ( $p=0.01$ ), especialmente, entre os 1000 m e 2000 m ( $p=0.04$ ); os 4000 m ( $p=0.00$ ); os 5000 m ( $p=0.00$ ). Obteve-se diferenças também entre os 3000 m e os 5000 m ( $p=0.05$ ).

## 5. Discussão

O objetivo do estudo foi de: 1) caracterizar e analisar os parâmetros cinemáticos; 2) analisar e caracterizar a atividade muscular dos nadadores de Águas Abertas durante um teste de 5x1000m; 3) relacionar EMG com cinemática. Os principais resultados consistiram em: i) demonstrar que a frequência gestual tende a aumentar ao longo da prova dos 5000m, verificando um maior acréscimo aos 4000m, a velocidade teve uma diminuição aos 2000m e depois estabilizou aos 3000m e teve um aumento nos últimos 1000m, o Índice de Braçada esteve sempre a decrescer até aos 4000m onde teve um ligeiro aumento nos últimos 1000m, existiu uma tendência da distância de ciclo diminuir para manter o desempenho nos últimos 1000m; ii) os músculos com maior ativação muscular foram o UT e AD na fase de recuperação da braçada e na fase de propulsão foram os músculos TB e LD que tiveram uma maior ativação; iii) A estabilização dos valores da cinemática aos 2000m e 3000m da  $v$  e DC vem confirmar o facto dos grupos musculares terem tido um decréscimo da %CVM ao longo da prova e o aumento da  $v$  e FG nos últimos 1000m evidenciaram um aumento da contração muscular do LD, PM e UT na recuperação mas foi o PD o músculo que teve um aumento tanto na fase propulsiva como na recuperação

### *Parâmetros Cinemáticos*

Ficou demonstrado que a FG tende a aumentar ao longo da prova dos 5km, verificando um maior acréscimo aos 4000m, existindo uma tendência de a DC diminuir para manter o desempenho nos últimos 1000m, a  $v$  decresce muito lentamente após os 1000m estabilizando até aos 4000m, onde tende a aumentar ligeiramente até aos 5000m e índice de nado tende a decrescer até aos 4000m onde volta a aumentar ligeiramente.

Zingg et al.(2014) estudou a  $v$  dos nadadores internacionais em provas de 5 km da FINA World Cup, onde registou uma  $v$  média de  $1.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , enquanto no nosso estudo registamos uma  $v$  média de  $1.39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Esta disparidade dos

valores pode ser explicada pelo contexto em que os nadadores são inseridos, uma vez que este estudo é realizado em protocolo controlado e sem componente competitiva. No estudo de Martens et al. (2015) onde os nadadores efetuaram 12,5m á máxima velocidade onde poderiam respirar e 12,5m mantendo a máxima velocidade sem respirar obtiveram valores muito diferentes dos obtidos neste estudo desde a velocidade de nado ter sido superior  $1.85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  enquanto no nosso estudo  $1.38 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . No entanto, os nossos resultados aproximam-se dos resultados apresentados por Neves (2017), em que a v média no teste de 5 x 1000 m é de  $1.30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Oliveira et al.(2018) também realizou um protocolo de 5x1000 e teve de v média  $1.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , já Zacca et al. (2020) com o mesmo protocolo de teste obteve uma velocidade de  $1.35 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  que se encontra em linha com os nossos resultados. Já o estudo de Lim et al. (2023) que estudo o efeito do fato de AA chegaram a uma velocidade de (1,39 m/s) numa distância mais curta (75m) em piscina com a temperatura da água também a rondar os 25%.

As variáveis biomecânicas FG, DC e IB têm sido utilizadas para a análise do nível de habilidade técnica do nadador (Seifert et al., 2004), sendo a avaliação destes fatores considerada importante para o planeamento do treino e na descrição do desempenho dos nadadores (Figueiredo et al., 2011; Termin & Pendergast, 2000). A literatura demonstra que a DC é considerada um fator fundamental no sucesso do nadador enquanto o IB é considerado a expressão da capacidade do nadador se deslocar a uma determinada v com o menor número possível de braçadas (Costill et al., 1985). As variáveis FG e DC representam o estado técnico de um nadador e sofrem alterações com o aparecimento da fadiga (Mujika et al., 2000). Em situações competitivas, os nadadores com melhor técnica de nado parecem apresentar uma maior capacidade de manutenção da DC (Craig et al., 1985). De acordo com os dados obtidos neste estudo é possível verificar que, das variáveis biomecânicas analisadas, observamos um aumento progressivo da FG e uma diminuição do IB, resultados que já foram comprovados anteriormente, e que podem ser explicados através dos reajustes biomecânicos feitos pelo nadador a tarefas de longa duração e com intensidades moderadas devido ao aparecimento de fadiga (Alberty et al., 2009; Dekerle et al., 2005; Neves, 2017; Pelarigo et al., 2016; Oliveira et al., 2018; Zacca et al., 2020).

### *Atividade Neuromuscular*

Relativamente à análise da atividade neuromuscular verificou-se uma maior ativação muscular para os músculos UT e AD na fase de recuperação da braçada e na fase de propulsão os músculos TB e LD. Comparando com os nossos resultados Stirn et al. (2011) no estilo crol, podemos observar que LD e TB diferem entre as fases propulsiva e recuperação. Por outro lado, Pink et al. (1991) concluíram que em crol, os músculos com maior participação muscular durante as fases do nado foram o PM e o LD, podendo ser considerados como os principais músculos propulsivos do crol. O grupo muscular PM teve uma ativação de cerca de 71% do MVC na fase inicial da fase propulsiva e LD (teve o pico de 75% do MVC) na fase final da propulsão quando nadando a um ritmo moderado. Embora no nosso estudo possamos observar diferenças não significativas para o PM, uma vez que apresenta padrões de ativação semelhantes em ambas as fases. Para o LD, foram encontradas diferenças significativas entre as fases da braçada, o que mostra que o LD é altamente ativo, principalmente na propulsão. No estudo de Rouard & Clarys (1995) o músculo AD apresenta a menor atividade na fase final da propulsão do ciclo de braçada, apresentando o mesmo comportamento durante toda a prova no nosso estudo, principalmente com tendência de decréscimo entre cada 1000m. Foram detetadas algumas alterações na participação muscular durante os percursos de nado, sendo mais evidentes a partir dos 4000 m. Lauer et al. (2013) continuou o estudo de Rouard & Clarys (1995) e examinou os padrões de ativação muscular dos músculos BB e TB em EMG de profundidade.

De acordo com Puce et al. (2021), parece-nos que nossos nadadores recrutaram unidades motoras adicionais, a fim de manter a velocidade e a eficiência da natação constantes. De acordo com os estudos no estilo de crol focados na amplitude EMG em músculos (Stirn et al., 2011; Martens et al., 2015), LD e TB são os mais envolvidos na fase propulsiva. De facto, o LD é conhecido como o devido ao seu papel importante na conclusão bem-sucedida de cada um dos estilos de natação (Laudner & Williams, 2013) e, juntamente com o TB, é considerado o músculo-chave na manutenção da velocidade de nado em condições de fadiga (Ikuta et al., 2012).

No estudo de Martens et al. (2015) o LD foi diferente pois neste estudo obteve-se uma média de 3,2 %MVC muito diferente de 44,81 %MVC.

Os resultados estão de acordo com o estudo desenvolvido por Lim et al. (2023), uma vez que o músculo AD é ativado na fase inicial de recuperação da braçada, os nadadores podem reduzir o tempo na fase de recuperação para alcançar um ritmo mais rápido com um aumento simultâneo na atividade muscular. Além disso, relatou que os participantes ativaram mais músculo PD durante o período de Fase propulsiva para nadar mais rápido.

Os nossos resultados são semelhantes a Lauert et al. (2013) pois obtiveram resultados onde o BB é mais recrutado na recuperação e o TB durante a fase final da braçada de crol.

#### *Relação entre variáveis cinemáticas e neuromusculares*

No presente estudo foram analisadas diversas variáveis biomecânicas, tendo sido possível avaliar os seus valores ao longo dos 5000 m. De uma forma geral, assume-se que houve alterações significativas nos parâmetros cinemáticos da braçada, essencialmente, durante os 4000 m, por apresentarem uma DC mais baixa, onde IB teve um ligeiro aumento devido ao aumento da  $v$  e FG. Parece-nos que a distância percorrida pelos nadadores em um ciclo completo de braçada foi menor a cada 1000m, e esse resultado pode estar associado ao aparecimento da fadiga. De acordo com Pelarigo et al. (2016) a acumulação de fadiga está relacionada com a intensidade e duração do exercício por provocar alterações biomecânicas nos nadadores, levando a reajustes durante a prova. Além disso, destaca-se a estabilização da  $v$ , que pode ser justificada pela adoção de um perfil uniforme ao longo da prova pelo nadador, selecionando a  $v$  que consegue manter até o final (Rodriguez et al., 2017). No entanto, o carácter competitivo dos nadadores e o objetivo levam a um aumento da FG para que ocorra um aumento de  $v$ , essencialmente, nas etapas finais (4000 m). De acordo com Baldassarre et al. (2017), onde identificaram que nadadores de AA com melhores resultados utilizam como estratégia o aumento de  $v$  na parte final da competição está de acordo com os resultados obtidos. Não só o aumento da FG visa aumentar o  $v$ , como também reduz o DC, pois o nadador tende a realizar mais ciclos de braçada para manter o desempenho (Rodriguez et al., 2017).

Parece-nos que o aumento da FG aos 4000m para tentar um aumento da v vem fazer com que a DC diminua, faz com que haja uma maior contração muscular em determinados grupos musculares e algumas compensações noutros para compensar o aparecimento da fadiga.

Na EMG os músculos UT e AD tiveram maior atividade na recuperação do que os opostos, e TB e LD foram maiores nas fases propulsiva e recuperação do nado, a fim de superar o arrasto da água e estabilizar o movimento.

Com este estudo parece-nos que o treino dos músculos mais recrutados tanto na fase propulsiva bem como na fase recuperação requerem um reforço extra de modo a se prevenir possíveis lesões devido ao excesso de repetição. No treino em seco, é necessário um trabalho específico de força e melhoria de coordenação neuromuscular de forma a melhorar a eficiência na contração muscular. Reforço muscular extra UT, AD, TB e LD de modo a se prevenir lesões pelo excesso de repetições. Melhoria técnica de forma a DC se manter mais estável, mesmo com o aumento da FG.

## 6.Limitações

Este estudo teve várias limitações devido a altura da época em que foram efetuadas as recolhas não só devido as condições climatéricas mas também devido á proximidade com as grandes provas de AA. Os nadadores não terem adversários para competir. O não haver máquina de filmar subaquática de modo a analisar a técnica do nadador. O não se ter realizado de forma continua o protocolo.

## 7.Conclusões

Durante uma prova de 5000m os nadadores tentam manter a velocidade de forma a controlar o seu desempenho. Durante a prova a DC e IB tendem a diminuir com o aumento da distância percorrida. No entanto, a maioria das alterações nos parâmetros cinemáticos ocorreram essencialmente aos 4000 m, com o aumento da FG para permitir o aumento de v com o término da prova. Em

geral, os ajustes biomecânicos permitem ao nadador atingir a meta, pois o desempenho desportivo do nadador é dependente do controle da prova e do aparecimento de fadiga. A atividade neuromuscular dos músculos analisados sugere que os músculos UT e AD tiveram maior atividade na recuperação do que os opostos, e TB e LD foram maiores nas fases propulsivas e de recuperação, a fim de superar o arrasto e estabilizar o movimento. É essencial realçar a importância do o treino destes grupos musculares, pois tem um papel fundamental ao longo da prova de AA, bem como na sua relação com alguns parâmetros cinemáticos.

## 8. Sugestões para Investigações Futuras

Para investigações futuras será preponderante dar continuidade a esta linha de investigação, sugerindo alguns estudos que podem ajudar a explicar alguns aspetos que ainda não foram contemplados neste estudo, nomeadamente: i) realizar este estudo com um maior N para amostra, comparando sexo masculino e feminino; ii) replicar este estudo mas em distância olímpica de natação de águas abertas (10 km); iii) determinar o aparecimento da fadiga neuromuscular ao longo de uma prova de águas abertas; iv) verificar o efeitos da respiração e do olhar dirigido para as boiás ao longo prova nas implicações da atividade neuromuscular nos músculos mais solicitados; v) relacionar parâmetros cinemáticos, neuromusculares e fisiológicos numa prova de águas abertas.

## Bibliografia

Baia, M., Batalha, N., & Conceição, A. (2020). Caracterização do comportamento muscular através da utilização de plataformas de Instabilidade aquáticas. Tese de Mestrado, Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia, Évora.

- Baldassarre, R., Bonifazi, M., Zamparo, P., & Piacentini, M. (2017). Characteristics and challenges of open-water swimming performance: A review. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10, pp. 1275-1284. doi:10.1123/ijsp.2017-0230
- Baldassarre, R., Pennacchi, M., La Torre, A., Bonifazi, M., & Piacentini, M. (2019). Do the Fastest Open-Water Swimmers have A Higher Speed in Middle- and Long-Distance Pool Swimming Events? *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(5), 1-9. doi:10.3390/jfmk4010015
- Barbosa, F. M. (2016). *O Nado de Atletas de Águas Abertas: Características do Desempenho e da Organização Temporal das Braçadas*. Escola de Educação Física e Esporte. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Barbosa, T. M. (2010). Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(2), 262-269.
- Barbosa, T. M.-B. (2006). Factores biomecânicos e bioenergéticos limitativos do rendimento em natação pura desportiva. *Revista Motricidade*, 2(4), 201-213.
- Barbosa, T., Bartolomeu, R., Morais, J., & Costa, M. (2019). Skillful Swimming in Age-Groups is Determined by Anthropometrics, Biomechanics and Energetics. 10(73), 1-10. doi:10.3389/fphys.2019.00073
- Baron, B., Dekerle, J., Depretz, S., Lefevre, T., & P., (2005). Self selected swimming speed and maximal lactate steady state speed. *International Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 1-6.
- Basmajian, J., & De Luca, C. (1985). *Muscles Alive*. Williams & Wilkins.
- Bilinauskalte, M., Mantha, V., Rouboa, A., Ziliukas, P., & Silva, A. (2013). Computational Fluid Dynamics Study of Swimmer's Hand Velocity, Orientation, and Shape: Contributions to Hydrodynamics. *BioMed Research International*, 1-14. doi:10.1155/2013/140487
- Bonança, M., Martins, J., & Rama, L. (2017). *Águas Abertas: Caraterização da Disciplina*. Faculdade de Educação Física e Desporto. Lisboa: Universidade Lusofona de Humanidades e Tecnologias.

Bonança, M., Rama, L., & Proença, J. (2021). Águas Abertas: Uma Disciplina, Diferentes Variáveis. *Boletim SPEF*, 35-45.

Borg, G. (2000). *Escalas de Borg para a Dor e o Esforço Percebido*. São Paulo: Manole.

Borges, J. M. (2015). Águas Abertas, O Outro Lado da Natação. 37º Congresso Técnico Científico APTN. Anadia: Associação Portuguesa de Técnicos de Natação.

Brody, L. R., Pollock, M. T., Roy, S. H., De Luca, C. J., & Celli, B. (1991). pH-induced effects on median frequency and conduction velocity of the myoelectric signal. *Journal of Applied Physiology*, 71, 1878-1885.  
doi:<https://doi.org/10.1152/jappl.1991.71.5.1878>

Bryer, S., & Goldfarb, A. (2006). Effect of High Dose Vitamin C Supplementation on Muscle Soreness, Damage, Function, and Oxidative Stress to Eccentric Exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(3), 270-280. doi:10.1123/ijsnem.16.3.270

Caty, V., Aujouannet, Y., Hintzy, F., Bonifazi, M., J., C., & Rouard, A. (2007). Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 285-291.  
doi:10.1016/j.jelekin.2006.02.005

Ceseracciu, E., Sawacha, Z., Fantozzi, S., Cortezzi, M., Gatta, G., Corazza, S., & Cobelli, C. (2011). Markerless analysis of front crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 2236-2242. doi:10.1016/j.jbiomech.2011.06.003

Chainok, P., Lauer, J., Gonçalves, P., Jesus, K., Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. (2022). Backstroke-to-Breaststroke Turns Muscular Activity. A Study Conducted in Age Group Swimmers. 21(3), pp. 402-412.  
doi:10.52082/jssm.2022.402

Chollet, D., Pelayo, P., Delaplace, C., & Tourny, C. (1997). Stroking Characteristic Variations in the 100-M Freestyle for Male Swimmers of Differing Skill. *Perceptual and Motor Skills*, 85(1), 167-177. doi:10.2466/PMS.85.5.167-177

- Clarys, J. (2000). Electromyography in sports and occupational settings: an update of its limits and possibilities. *Ergonomics*, 43(10), 1750-1762.  
doi:10.1080/001401300750004159
- Cohen, R., Cleary, P., Mason, B., & Pease, D. (1 2020). Studying the effects of asymmetry on freestyle swimming using smoothed particle hydrodynamics. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*(7), 271-284.  
doi:10.1080/10255842.2020.1718663
- Conceição, A., Silva, A., Barbosa, T., & Louro, H. (2013). Observation and Technical Characterization in Swimming: 200 M Breaststroke. *Revista Brasileira de Medicina de Esporte*, 19(1), 56-61.
- Conceição, A., Silva, A., Barbosa, T., Campaniço, J., Costa, A., & Louro, H. (2019). Neuromuscular and motor patterns in breaststroke technique. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*, 21.  
doi:10.5007/1980-0037.2019v21e56408
- Conceição, A., Silva, A., Barbosa, T., Karsai, I., & Louro, H. (2014). Neuromuscular Fatigue during 200 M Breaststroke. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13, 200-210.
- Costill, D. L., Kowaleski, J., Porter, D., Kirwan, J., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy Expenditure During Front Crawl Swimming: Predicting Success in Middle-E. *International Journal of Sports Medicine*,6(5), 266-270.
- Deschodt, V., Arsac, L., & Rouard, A. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology*, 80(3), 192-199. doi:10.1007/s004210050581
- Fernandes, R. (2013). Biophysical characterization of low to extreme Swimming intensities: seminar.
- Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. (2006). Tempo limite à intensidade mínima correspondente ao consumo máximo de oxigénio: novos desenvolvimentos num parâmetro de recente investigação em natação. *Motricidade*, 2(4), 212-220.

Figueiredo, P. P.-B. (2013). Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim. *BioMed research international*, 2013, 897232. doi:10.1155/2013/897232

Fone, L., & Tillaar, R. (2022). Effect of Different Types of Strength Training on Swimming Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Sports Medicine Open*, 8(19), 1-26. doi:10.1186/s40798-022-00410-5

Fone, L., & Tillaar, R. (2022). Effect of Different Types of Strength Training on Swimming Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *Sports Medicine- Open*, 1-26. doi:10.1186/s40798-022-00410-5

Franken, M., Correia, R., Matos, C., Silveira, R., & Castro, F. (2018). Cinemática do nado crawl em velocidade sustentada até a exaustão. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*, 6-12. doi:10.18511/rbcm.v26i4.6675

Ganzevles, S., Van Nuland, L., & Toussaint, H. (2008). Swimming obstructed by dead-water. *Springer Link*, 449-456. doi:10.1007/s00114-008-0493-6

Gay, A., Zacca, R., Abrales, J., Moraless-Ortíz, E., López-contreras, G., Fernandes, R., & Arellano, R. (2021). Swimming with Swimsuit and Wetsuit at Typical vs. Cold-water Temperatures (26 vs. 18 °C). *International Journal of Sports Medicine*, 1305-1312. doi:10.1055/a-1481-8473

Guignard, B., Rouard, A., Chollet, D., Bonifazi, M., Vedona, D., Hart, J., & Seifert, L. (2019). Upper to Lower Limb Coordination Dynamics in Swimming Depending on Swimming Speed and Aquatic Environment Manipulations. *Human Kinetics Journal*, 23(3), 1-25. doi:10.1123/mc.2018-0026

Hermens, H., Freriks, B., Disselhorst-Klung, C., & Rau, G. (2000). Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10, 261-374. doi:10.1016/S1050-6411(00)00027-4

Hout-Marchand, F., Nesi, X., & Sidney, M. (2014). Variations of stroking parameters associated with 200 m competitive performance improvement in top-standard front crawl swimmers. *Sports Biomechanics*, 89-100. doi:10.1080/14763140508522854

Knechtle, B., Dalamitros, A., Barbosa, T., Sousa, C., Rosemann, T., & Nikolaidis, P. (2020). Sex Differences in Swimming Disciplines - Can Women Outperform Men in Swimming? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(10), 36-51. doi:10.3390/ijerph17103651

Konrad, P. (2005). The ABC of EMG. A practical introduction to kinesiological electromyography. 4(2)31-36.

Kruger, M., Saayman, M., & Ellis, S. (2011). A motivation based typology of open-water swimmers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 33(2), 59-79. doi:10.4314/sajrs.v33i2.69691

Lipińska, P. (2009). Kinematic Tactics in the Women's 800 m Freestyle Swimming Final at the Beijing. *Baltic Journal of Health and Physical Activity*. 1, 86-92. doi:10.2478/v10131-009-0010-0

Martens, J., Daly, D., Deschamps, K., Fernandes, R., & Staes, F. (2015). Intra-Individual Variability of Surface Electromyography in Front Crawl Swimming. *Plos One*, 10(12). doi:10.1371/journal.pone.0144998

Martens, J., Figueiredo, P., & Daly, D. (2015). Electromyography in the four competitive swimming strokes: A systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 25, 273-291. doi:10.1016/j.jelekin.2014.12.003

Matos, C., Marinho, D., & Conceição, A. (2021). Avaliação e Controlo do Treino e Competição em Nadadores de Seleção Nacional. *Escola Superior de Desporto de Rio Maior*. Rio Maior: Instituto Politécnico de Santarém.

Mauger, A., Neuloh, J., & P., C. (2012). Analysis of pacing strategy selection in elite 400-m freestyle. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 44(11), 2205-2212. doi:10.1249/MSS.0b013e3182604b84

McCabe, C., Sanders, R., & Psycharakis, S. (12 de Setembro de 2015). Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming. *Journal of Biomechanics*, 48(15) 3995-4001. doi:10.1016/j.jbiomech.2015.09.012

- McGibbon, K. E., Pyne, D. B., Shephard, M. E., & Thompson, K. G. (2018). Pacing in swimming: a Systematic Review. *Sports Medicine*, 7, 1621-1633.
- Morais, J., Barbosa, T., Forte, P., Bragada, J., Flávio, S., & Marinho, D. (2020). Stability analysis and prediction of pacing in elite 1500 m freestyle male swimmers. *Sports Biomechanics*, 7, 1-18. doi:10.1080/14763141.2020.1810749
- Munatones, S. (2011). *Open Water Swimming*. Champaign, IL 61825-5076, United States of America: Human Kinetics.
- Neuloh, J., Skorski, S., Mauger, L., Hecksteden, A., & Meyer, T. (2020). Analysis of end-spurt behaviour in elite 800-m and 1500-m freestyle swimming. *European Journal of Sports Science*, 1628-1636. doi:10.1080/14763141.2020.1814401
- Neves, V. (2017). *Caracterização biofísica da técnica de crol numa distância de 5000 m*. Porto: Faculdade de Desporto da Universidade do Porto.
- Oliveira, T., Fernandes, R., & Vilas-Boas, J. (2018). *Caraterização Biofísica dos 5000 m Crol em Águas Abertas*. Faculdade de Desporto Universidade do Porto. Porto: Universidade do Porto.
- Olstad, B., Zinner, C., Cabri, J., & Kjendlie, P.L. (2014). Surface electromyographic measurements on land prior to and after 90 min of submersion (swimming) are highly reliable. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(5), 698-703. doi:10.1016/j.jelekin.2014.06.006
- Open Water Swimming Guide* (2022). Obtido de Fédération Internationale de Natation: <https://www.fina.org/about>
- Pelarigo, J. G., Greco, C. C., Denadai, B. S., Fernandes, R. J., Vilas-Boas, J. P., & Pendergast, D. (2016). Do 5% Changes around maximal lactate steady state lead to swimming biophysical modifications. *Human Movement Science*, 49, 258-266.
- Puce, L., Chamari, K., Marinelli, L., Mori, L., Bove, M., Faelli, E., Fassone, M., Cotellessa, F., Bragazzi, N, Trompetto, C. (2022). Muscle Fatigue and Swimming Efficiency in Behind and Lateral Drafting. *Journal Frontiers in Physiology*, 13, 1-9. doi:10.3389/fphys.2022.835766

Puel, F., Morlier, J., Avalos, M., Mesnard, M., Cid, M., & Hellard, P. (2012). 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. *Journal of Biomechanics*, 45(3), 510-515. doi:ff10.1016/j.jbiomech.2011.11.043

Rodriguez, L., & S., V. (2018). Effect of the Pacing Strategies on the Open-Water 10-km World Swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 13(6), 694-700. doi:10.1123/ijsp.2017-0274

Rodríguez, L., Veiga, S., García, I., & González-Ravé, J. (2021). Stroking Rates of Open Water Swimmers during the 2019 FINA World Swimming Championships. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18. doi:10.3390/ijerph18136850

Sanders, R., Cappaertl, J., & Devlini, R. (1995). Wave Characteristics of Butterfly Swimming. *Journal of Biomechanics*, 8(1), 9-16. doi:https://doi.org/10.1016/0021-9290(95)80002-6

Sanders, R., Takagi, H., & Vilas-Boas, J. (2021). How Technique Modifications in Elite 100m Swimmers Might Improve Front Crawl Performances to Podium Levels: Swimming "Chariots of Fire". *Sports Biomechanics*, 12, 1-20. doi:10.1080/14763141.2021.1998590

Schnitzler, C., Brazier, T., Button, C., Seifert, L., & Chollet, D. (2011). Effect of velocity and added resistance on selected coordination and force parameters in front crawl. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2681–2690.

Schnitzler, C., Seifert, L., & Chollet, D. (2009). Variability of coordination parameters at 400-m front crawl swimming pace. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8(2), 203-210.

Seifert, L., Chollet, D., & Rouard, A. (2007). Swimming constraints and arm coordination. *Human Movement Science*, 26(1), 68-86. doi:10.1016/j.humov.2006.09.003

Shaw, G., Koivisto, A., Gerrard, D., & Burke, L. (2014). Nutrition Considerations for Open-Water Swimming. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(4), 373-381. doi:http://dx.doi.org/10.1123/ijsnem.2014-0018

Silva, A., Reis, V., Marinho, D., Carneiro, A., Novaes, G., & Aida, F. (2006). Economia de nado: factores determinantes e avaliação. *Revista Brasileira de Cineantropometria & desempenho Humano*, 8(3). <https://doi.org/10.1590/%25x>

Silvatti, A., Cerveri, P., Telles, T., Dias, F., Baroni, G., & Barros, M. (2014). Quantitative underwater 3D motion analysis using submerged video cameras: accuracy analysis and trajectory reconstruction. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical*, 16(11), 1240-8.  
doi:10.1080/10255842.2012.664637

Simbaña-Escobar, D., Hellard, P. H., & Seifert, L. (2020). Influence of stroke rate on coordination and sprint performance in elite male and female swimmers, 30(11), 2078-2091. doi:10.1111/sms.13786

Smith, D., Esau, S., Norris, S. R., Bidrmann, J.(2002)A Case Study of Swimming Competition Analysis and Training Leading to an Olympic A Final. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(5), 76-78.  
doi:10.1097/00005768-200205001-01774

Stirn, I., Jarm, T., Kapus, V., & Strojnik, V. (2013). Evaluation of mean power spectral frequency of EMG signal during 100 metre crawl. *European Journal of Sports Science*, 13(2), 164-173. doi:10.1080/17461391.2011.630100

Suzuki, Y., Noriaki, M., Sasadai, J., Kaneda, K., Shirakawa, T., & Urabe, Y. (2020). Ultrasonographic Evaluation of the Shoulders and Its Associations with Shoulder Pain, Age, and Swim Training in Masters Swimmers. *Medicina*, 57(1), 29. doi:10.3390/medicina57010029

Swift, W. (2003). Australian Swimming Coaches and Teachers. In Gold Coast. .

Toussaint, H. M. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1635-1642. doi:10.1249/01.mss.0000230209.53333.31

Toussaint, H., & Beek, P. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13, 8-24.

- Toussaint, H., & Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, 55, 17-40.  
doi:10.1163/1570756053276907
- Turgay, F., Ozkol, M., Vural, F., Aksit, T., Özçaldıran, B., Ongun, M., . . . Nalçakan, M. (2017). The Physiological Responses to 5000m Open Water Swimming Exercise in Children. *Turkiye Klinikleri Journal of Sports Sciences*, 9(1), 1-11. doi:10.5336/sportsci.2016-51376
- VanHeest, J., Mahoney, C., & Herr, L. (2004). Characteristics of elite open water swimmers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18, 302-305.  
doi:10.1519/R-13513.1
- Vilas-Boas, J. P. (2010). The Leon Lewillie Memorial Lecture: Biomechanics and Medicine in Swimming. Past, Present and Future. 12-19.
- Vilas-Boas, J. P. (2013). O índice de braçada como indicador do nível de adequação mecânica da técnica em natação. *Kinesis*, 6(1).  
<https://doi.org/10.5902/231654648506>
- Vogt, P., Rüst, C., Rosemann, T., Lepers, R., & Knechtle, B. (2013). Analysis of 10 km swimming performance of elite male and female open-water swimmers. *Springer Plus*. 2, 603. doi:<https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-603>
- Vorontsov, A., & Rummyantsev, V. (2008). Resistive Forces in Swimming. *Biomechanics in Sport: Performance*, 184 - 204.
- Washino, S., Murai, A., Mankyu, H., Ogita, F., Kanehisa, H., & Yoshitake, Y. (2021). Lower lung-volume level induces lower vertical center of mass position and alters swimming kinematics during front-crawl swimming. *Journal of Biomechanics*, 121, 110428. doi:10.1016/j.jbiomech.2021.110428
- Zacca, R., Neves, V., Oliveira, T., Soares, S., Rama, L., Castro, F., Vilas-Boas, J. P., Pyne, D., Fernandes, R. (2020). 5 km front crawl in pool and open water swimming: breath by breath energy expenditure and kinematic analysis. *European Journal of Applied Physiology*, 120, 2005-2018. doi:10.1007/s00421-020-04420-7

Zamparo, P., Capelli, C., & Pendergast, D. (2011). Energetics of swimming: A historical perspective. *European Journal of Applied Physiology*, 111(3), 167-378. doi:10.1007/s00421-010-1433-7

Zamparo, P., Pendergast, D., Termin, B., & Minetti, A. (2002). How fins affect the economy and efficiency of human swimming. *Journal of Experimental Biology*, 205(17), 2665-2676. doi:https://doi.org/10.1242/jeb.205.17.2665

Zaïdi, H., Fohanno, S., Taiïar, R., & Polidori, G. (2010). Turbulence model choice for the calculation of drag forces when using the CFD method. *Journal of Biomechanics*, 43(3), 405-411. doi:https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2009.10.010