FORÇAS INTERNAS QUE AFETAM O NADADOR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ARTIGO DE REVISÃO

PINTO, Marcelo De Oliveira ¹

CHIROLLI, Milena Julia ²

SOARES, Bruna Adamar Castelhana ³

PEREIRA, Suzana Matheus ⁴

ROESLER, Helio ⁵

PINTO, Marcelo De Oliveira. Et al. **Forças internas que afetam o nadador: Uma revisão sistemática**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 04, Ed. 11, Vol. 05, pp. 71-90. Novembro de 2019. ISSN: 2448-0959, Linkk de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/educacao-fisica/forcas-internas>

RESUMO

A velocidade na natação é determinada por fatores biomecânicos e bioenergéticos, sendo necessária a modulação da quantidade de força produzida pelo nadador. O

¹ Doutorado em andamento em Ciências do Movimento Humano. Mestrado em Ciências do Movimento Humano. Mestrado em Biologia de Fungos, Algas e Plantas. Graduação em Educação Física. Graduação em Engenharia de Aquicultura.

² Graduação em andamento em Fisioterapia.

³ Mestrado em andamento em Ciências do Movimento Humano. Graduação em Educação Física.

⁴ Doutorado em Ciências do Desporto. Mestrado em Ciências do Movimento Humano.

⁵ Doutorado em Engenharia Mecânica. Mestrado em Engenharia Civil. Graduação em Engenharia Mecânica.

entendimento dos custos mecânicos e da geração de energia nos movimentos aquáticos é de grande importância para o alcance de um melhor desempenho. No entanto, ainda não está bem definido quais forças internas afetam o nadador durante o nado. O objetivo deste trabalho é levantar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o estado da arte acerca das forças internas da natação. Foram analisados estudos indexados nas seguintes bases de dados: Web of Science, Scopus, SciELO, Medline, PubMed, Lilacs e Cochrane. A sistematização de busca incluiu leitura de títulos, resumos e artigos na íntegra, encontrados por meio de três blocos de descritores que combinaram termos principais e secundários, conforme consta no Apêndice A. Buscou-se estudos em quatro idiomas, sendo: português, inglês, espanhol e francês. Os resultados mostraram que os estudos que abordam as forças internas do nadador são escassos na literatura. Um total de 5.841 artigos foram encontrados, nos quais apenas 2 se referem a esta variável na natação. Estes 2 estudos, incluídos para análise qualitativa, trazem na sua metodologia a utilização da cinemática como instrumento de avaliação e a cinética como resultado, apresentando as forças internas do palmateio e da pernada do nado peito como objetos de estudo. Embora ambos apresentassem qualidade na metodologia, nenhum dos estudos foi criterioso quanto ao número amostral. No entanto, estas pesquisas demonstram uma inovação, podendo ser considerados como pesquisas de base. Mesmo com baixa força amostral, foram publicados em uma revista de alto impacto para a área. Ambos os artigos citam a carência de estudos neste tema. Esta condição justifica-se pela dificuldade com que o ambiente aquático se mostra para os pesquisadores, tornando-se necessário desenvolver tecnologias que possibilitem aferir tais variáveis durante o nado, para que seja possível avançar no conhecimento sobre estes fenômenos. Dentre as sugestões que esta revisão sistemática aponta, preconiza-se a quantificação da real força gerada pelo nadador durante os diferentes tipos de nado, tal como o desenvolvimento de instrumentos de mensuração para o meio aquático.

Palavras-chave: Natação, dinâmica, desempenho.

1. INTRODUÇÃO

A força é uma condição inata dos seres humanos (SHUMWAY-COOK; WOOLACOTT, 2001) a permitir que os indivíduos realizem tarefas intrínsecas do seu cotidiano. A Força, como variável, é uma valência difícil de ser definida (STONE et al., 2002), pois é complexa e seu conceito envolve muitas facetas. Pode ser definida como a capacidade de provocar tensão em um músculo (FLECK; KRAEMER, 2017). Alguns autores (BEER et al., 2019; BEER; JOHNSTON; MAZUREK, 2019) também a definem como sendo a capacidade de acelerar ou deformar o material. Outros consideram que a força está intimamente ligada as Leis de Newton aplicadas nos esportes (SAMSON et al., 2017).

Na biomecânica, as análises cinéticas se referem à investigação das forças que causam o movimento (ACKLAND; ELLIOT; BLOOMFIELD, 2011). Estas análises podem incluir forças internas e externas. As forças internas vêm da atividade muscular, ou seja, da tensão sobre os ligamentos e articulações ou da própria fricção nos músculos (FLECK; KRAEMER, 2017), enquanto as forças externas vêm do solo (ação e reação) e de cargas externas (ACKLAND; ELLIOT; BLOOMFIELD, 2011). A análise cinética, portanto, proporciona um maior entendimento sobre as forças que contribuem para o movimento.

A investigação das forças impostas ao corpo humano, por meio de diferentes formas de movimento, possui relevância para os profissionais e pesquisadores que subsidiam esta área (LOSS et al., 2002). Nos esportes esta qualidade é muito explorada, sendo que em algumas modalidades, como levantamento olímpico e *Powerlifting*, têm-se, na ação da força, o resultado final do desempenho do indivíduo (GARHAMMER, 1993). Ainda, em outros esportes como lutas e atletismo, a força pode ser decisiva na busca da maestria (AMADIO; SERRÃO, 2011; MOURA, 2003). Desta forma, a força máxima pode ser um fator importante que influencia no desempenho em diversos esportes. Porém, entre treinadores e pesquisadores ainda não há um consenso com relação a quantidade de força necessária para um desempenho ideal na maioria dos esportes (STONE et al., 2002).

Se no meio terrestre a força é difícil de ser mensurada e classificada, no ambiente aquático este fenômeno torna-se ainda mais obscuro. Sabe-se, então, que a velocidade de um nadador é determinada por fatores biomecânicos e bioenergéticos (WILLEMS et al., 2014) e que a otimização da natação é importante no desempenho competitivo (CONNABOY et al., 2016). Para tanto, o nadador precisa modular a produção de força em resposta a alterações nas demandas mecânicas associadas a diferentes tarefas (LAUER; ROUARD; VILAS-BOAS, 2017). Assim, a avaliação da natação é um dos mais complexos, extraordinários e interessantes tópicos na biomecânica do esporte (MARINHO et al., 2009).

Como forma de deslocar-se em meio aquático, os nadadores experimentam forças as quais não vivenciam em terra (MAGLISCHO, 2013). Por exemplo, nadadores de diferentes nados realizam tarefas motoras distintas para se deslocar com maestria, aplicando forças em diferentes direções para criar impulso (GUIGNARD et al., 2015; SAMSON et al., 2017). Como resultado existem nadadores que experimentam maiores forças hidrodinâmicas resistivas para se deslocar, o que ocorre geralmente nos chamados "nados baseados em arrasto", que contam com forças hidrodinâmicas resistivas para nadar (MAGLISCHO, 2013). Como alternativa, outros nadadores podem adaptar-se a movimentos otimizados do nado (CONNABOY et al., 2016), vivenciando maiores propulsões resultantes de menores forças de arrasto.

Esta apreciação se mostrou como uma necessidade, para promover e ampliar o conhecimento sobre o fenômeno força. É necessária uma compreensão mais profunda do fluxo de energia entre os segmentos corporais e o ambiente para verificar a possível dependência entre o trabalho interno e o externo. Isso será essencial para um melhor entendimento das determinantes dos custos mecânicos da natação e da geração de energia nos movimentos aquáticos (LAUER et al., 2015).

Com isso é levantada a seguinte questão: Quais forças internas afetam o nadador durante o nado? Ao responder esta pergunta deve-se gerar subsídios aos cientistas e profissionais que atuam nesta área com o intuito de prevenir lesões, calcular cargas na periodização ou buscar condições ótimas para a melhora no desempenho. Para isso, pretende-se entender como os atuais estudos abordam este tema. Assim, o

objetivo deste trabalho é levantar, por meio de uma revisão sistemática da literatura, o “estado da arte” acerca das forças internas que afetam o nadador durante o nado.

1.1 MATERIAIS E MÉTODOS

1.1.1 TIPO DE PESQUISA

Este estudo é caracterizado como uma revisão sistemática da literatura. Pretende, então, em seu enfoque, ampliar o estado da arte sobre o tema das forças internas que afetam o nadador durante sua prática. Para isso, o instrumento utilizado foi a revisão sistemática, pois proporciona uma síntese rigorosa de todas as pesquisas relacionadas à questão do estudo. Sua base leva em conta, primordialmente, estudos experimentais e usualmente ensaios randomizados (CORDEIRO et al., 2007). Além disso, é de cunho bibliográfico, uma vez que se fundamenta na elaboração a partir de dados já publicados, como artigos de periódicos e demais materiais (GIL, 2008). Este estudo também pode ser caracterizado como uma pesquisa qualitativa (SILVA; MENEZES, 2005, p. 20), que se deve pela qualificação dos estudos encontrados nas buscas.

1.1.2 SELEÇÃO

Para a análise dos artigos foram levantados estudos nas seguintes bases de dados: Web of Science, Scopus, SciELO, Medline, PubMed, Lilacs e Cochrane. Cada base de dados contou com estratégias de pesquisa individual. A configuração de descritores e palavras-chaves inserida nas plataformas consistiu em três blocos de descritores e está apresentada no Apêndice A. Para composição de cada bloco individual, o descritor principal e seus respectivos termos secundários foram combinados entre si pela utilização do booleano “OR”, enquanto para a associação dos blocos utilizou-se o booleano “AND”.

1.1.2.1 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Somente periódicos indexados foram incluídos nessa busca, a fim de garantir o critério de qualidade para a produção. Foram incluídos estudos que estivessem escritos na língua portuguesa, inglesa, francesa e espanhola. Os estudos selecionados deveriam atender aos seguintes critérios: (1) estar em periódicos indexados; (2) conter desenho experimental com humanos; (3) conter resultados de análises das forças internas na natação. Para tanto, não houve restrição quanto a idade ou nível competitivo da amostra.

1.1.2.2 CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO

Os artigos que não se enquadravam nos critérios de inclusão citados foram excluídos do estudo. Também foram excluídas pesquisas envolvendo: (1) estudos com outros esportes aquáticos; (2) estudos de revisões, cartas, conferências, resumos, opiniões de especialistas e estudos de caso; (3) estudos apenas com modelagem computacional; (4) estudos que não relataram forças internas ou que não permitiram avaliações a serem extrapoladas por estas forças.

1.1.3 PROCESSO DE COLETA DE DADOS

O primeiro autor coletou as informações necessárias para a seleção dos artigos. O segundo autor averiguou todas as informações coletadas para confirmar a precisão. Qualquer desacordo em qualquer fase foi resolvido por reunião e acordo mútuo entre os três revisores. O quarto e quinto autores estavam envolvidos na decisão final e na elaboração do manuscrito.

1.2 PROCEDIMENTOS

As estratégias de pesquisa serão descritas a seguir. O levantamento de dados iniciou em 5 de agosto de 2019 e a data final da pesquisa foi em 30 de setembro de 2019, sendo atualizada e concluída em 11 de outubro de 2019.

A sistematização de busca incluiu uma hierarquia de avaliação com a busca dos artigos. Todas as referências foram gerenciadas pelo software gerenciador de referência EndNote® X3. Assim, todos os duplicados foram removidos neste programa. Os estudos foram primeiramente avaliados pela leitura de títulos, posteriormente pela leitura dos resumos e por último pela leitura dos artigos na íntegra, realizando a inclusão ou exclusão de artigos em cada etapa. Quaisquer estudos que não cumpriram os critérios de inclusão foram descartados.

Cada etapa contava com dois avaliadores que realizavam a seleção às cegas, não havia comunicação entre os avaliadores durante o processo de inclusão dos artigos em cada etapa. Na sequência, um terceiro avaliador agrupava os estudos dando prosseguimento a análise. Os artigos que eram replicados pelos dois primeiros avaliadores passavam para a próxima etapa de avaliação. Os artigos que não coincidiam eram submetidos a análise de um terceiro avaliador, podendo ser discutido por um quarto avaliador. Para elucidar a avaliação segue a Figura 1.

Ao final das exclusões, os artigos completos ficaram para avaliação de conteúdo. A lista de referência de todos os artigos incluídos foi avaliada criticamente por um examinador.

Um quinto autor, com vasta experiência em natação e atividades aquáticas, acompanhou a seleção e análise dos artigos e opinava sobre decisões quando havia controvérsias em uma decisão final. Tanto a seleção dos artigos, quanto a leitura, correções e elaboração do manuscrito contou com a participação dos cinco avaliadores/autores da obra.

1.3 RESULTADOS

A forma de seleção dos estudos é apresentada pelo fluxograma da Figura 1 a seguir. Neste, está descrito e identificado como ocorreu o processo de inclusão e exclusão dos estudos no decorrer das fases.

Figura 1 – Fluxograma da sistematização e critérios de busca, adaptados dos itens de relatório preferidos para revisões sistemáticas e metanálises (PRISMA).

Um total de 5.841 artigos foram encontrados após a remoção das duplicatas. Desses apenas 168 se mantiveram após a leitura dos títulos. Depois disto, 150 estudos foram excluídos por diferentes razões pela leitura dos resumos. Exclusivamente 18 artigos foram selecionados para leitura na íntegra. Destes dezesseis foram excluídos pelos motivos explícitos na Figura 1. Apenas 2 artigos foram finalmente incluídos no estudo qualitativo.

Dos 2 estudos selecionados, ambos foram publicados na mesma revista nos anos de 2015 e 2016. Esses também possuíam a mesma autoria, diferenciando-se apenas

alguns coautores e seus países de origem. Nos dois estudos pôde-se observar a complexidade nas análises e a participação de nadadores experientes como grupo amostral. Porém, observa-se também, um pequeno número amostral, de 7 e 8 indivíduos em cada um dos estudos.

Quadro 1 – Síntese dos resultados dos estudos.

ANO	AUTOR	PAÍS	OBJETIVO	AMOSTRA	METODOLOGIA	CONCLUSÃO
2015	Lauer, et al.	Noruega França Itália	1 – Fornecer uma equação preditiva para estimar o trabalho interno no nado de peito. 2 – Explorar a relação de trabalho interno e a frequência na natação, para assim contrastar a locomoção terrestre com a aquática.	8 nadadores (elite) 4 homens e 4 mulheres	Utilizou-se marcadores posicionados em 3 locais. Seis câmeras com frequência de 100Hz em tripés submersos. Calibrador com volume de cerca de 37,5m ³ . O corpo foi modelado como 13 segmentos rígidos (pés, pernas, coxas, mãos, braços, antebraços e tronco). Foi utilizado o software MATLAB. Para o cálculo do trabalho interno mecânico a velocidade foi calculada pela derivada das posições dos segmentos e suas respectivas diferenças nas coordenadas absolutas do segmento. Cada um dos conjuntos foi projetado no plano sagital, valores mínimos e máximos determinados, e a expansão angular calculada. O trabalho interno foi encontrado pelo total da massa corporal pela distancia que o segmento viajou.	Foi simplificada uma equação preditiva para o trabalho interno de nado de peito. Este componente foi capaz de compreender um modelo, incluindo a predição do gasto energético associada para ativar a velocidade e frequência das pernas durante o nado. Ela mostra a capacidade de diminuir o trabalho interno. Essa competência nunca foi observada antes nos humanos. Um entendimento mais aprofundado do fluxo de energia entre as respostas internas e requisitos do meio ambiente são necessários para verificar a dependência entre forças internas e externas.
2016	Lauer, Rouard, Vilas-Boas	Portugal França	Testar se a metodologia do CFD, quando integrado à dinâmica, pode ser usado com segurança para avaliar a carga interna do ombro de nadadores.	7 nadadores (experientes)	Realizou-se "palmateio" em uma piscina de 25m de comprimento por 2m de profundidade. Os nadadores tinham um peso de 4 kg (peso efetivo na água: 34N amarrado ao corpo. Os dados de cinemática 3D foram capturados no sistema de coordenadas inerciais por rastreamento automático com 12 marcadores reflexivos. Doze câmeras. O calibrador tinha a forma de L.	As forças no ambiente aquático, ficaram em torno de 16.774,4 N. Quando comparados a força produzida no programa, presente nas simulações numéricas, o resultado foi de 16.474,2 N. A diferença encontrada foi de 1,27%. A carga do membro superior estava dentro de 5% do peso do corpo, indicando baixa carga para o nadador.

Embora todos tivessem qualidade na metodologia, ao descrever as variáveis e explicar como o estudo foi desenvolvido, nenhum dos artigos foi criterioso quanto ao número amostral. No entanto, estes estudos demonstram uma inovação, podendo ser

considerados como pesquisas de base. Mesmo com baixa força amostral, estas pesquisas foram publicadas em revista de alto impacto para a área, servindo de base para outros estudos. Ambos os artigos citam a necessidade e carência de desenvolver este tema. Estes trabalhos trazem, ainda, na sua metodologia a utilização de cinemática como instrumento de análise e a cinética como resultado, apresentando as forças internas do palmateio e da pernada do nado peito como objetos de estudo.

1.4 DISCUSSÃO

Esta revisão teve por objetivo compreender o “estado da arte” acerca das forças internas que afetam o nadador durante o nado. Para isso, identificou-se, de início, inúmeros artigos avaliando os efeitos das diferentes forças que afetam o nadador durante sua prática. Nesta busca, deparou-se com um crescente avanço na ciência para o entendimento de tais forças. Porém, a maioria dos artigos (que foram excluídos neste estudo) tinham como tema as forças externas (BARBOSA et al., 2018; BIXLER; PEASE; FAIRHURST, 2007; COHEN et al., 2018; KEYS; LYTTLE, 2008; POPA et al., 2014; ZAIDI et al., 2008).

Uma questão fundamental na locomoção é entender como a força produz movimento. Isso é aparentemente complexo, ainda mais quando se trata dos movimentos dos seres humanos na água (BHALLA; GRIFFITH; PATANKAR, 2013). Com isso, cada vez mais os autores procuram análises elaboradas para entender como as variáveis afetam os nadadores (BARBOSA et al., 2010).

Estudos de locomoção na natação competitiva são altamente condicionados às características dos fluidos, uma vez que os nadadores se utilizam destas propriedades para se impulsionarem (GUIGNARD et al., 2017). Neste sentido, é essencial que cientistas e profissionais do esporte identifiquem as interações que emergem entre o nadador e as propriedades de um ambiente aquático, dado que a avaliação da natação é um dos tópicos mais complexos, marcantes e fascinantes da biomecânica (MARINHO et al., 2010).

Como um dos diferentes métodos aplicados na natação, têm-se a dinâmica dos fluidos computacional (CFD) (XIE; LI; YAN, 2018). Esta técnica é capaz de observar e entender os movimentos da água ao redor do corpo humano e sua aplicação para melhorar o desempenho na natação. O CFD é aplicado em muitas pesquisas (BANKS et al., 2014; BIXLER; RIEWALD, 2002; LAMAS et al., 2011; MANTHA et al., 2014; POPA et al., 2014) na tentativa de entender profundamente as bases biomecânicas da natação. Assim, esta técnica pode ser considerada uma nova abordagem relevante para avaliação das forças hidrodinâmicas na natação (GUIGNARD et al., 2017).

Entretanto, na natação virtual geralmente há uma disparidade entre o nível de detalhes da simulação do corpo de um nadador e o do fluido que ele se move (JOHNSON; PHILIPPIDES; HUSBANDS, 2019). Já as abordagens clássicas de pesquisa biomecânica se concentraram nas ações dos nadadores, decompondo as características do curso para análise, sem explorar perturbações nos fluxos de fluidos (GUIGNARD et al., 2017).

Contudo, com o atual crescimento tecnológico, é possível modelar nadadores usando corpos pseudo-macios e fluidos baseados em partículas, que possuem realismo suficiente para investigar uma gama maior de interações corpo-ambiente (JOHNSON; PHILIPPIDES; HUSBANDS, 2019). Exemplo disso é a avaliação da natação em humanos que agora é realizada usando a técnica CFD de partículas suavizadas. Essa abordagem lida com os desafios de modelagem do nadador, permitindo simulações mais realistas que são obtidas a partir de varreduras a laser de atletas e imagens de vídeo (COHEN; CLEARY; MASON, 2010). Toda esta tecnologia abre novos horizontes para avançar nas pesquisas que tratam das forças e como estas afetam o nadador, externa e internamente.

Por outro lado, é preciso atentar-se sobre algumas pesquisas em mecânica de fluidos que registram o comportamentos de fluidos isolados das restrições de ambientes de natação competitivos (por exemplo, análises em duas dimensões ou fluxos de fluidos estudados passivamente em manequins/robôs) (GUIGNARD et al., 2017).

Com isso, e como visto nesta revisão, a força e seus resultados no nadador acabam por ser negligenciadas. Dos mais de cinco mil artigos encontrados que tratavam de força, apenas 2 se referem a esta variável na natação.

Neste tocante, foram encontrados diversos artigos tratando da força, dentre eles deve-se citar a contribuição relativa da força dos braços e pernas na natação amarrada (TOR; PEASE; BALL, 2015), além de estudos sobre as taxas de força de braçada do nado amarrado (SANTOS et al., 2016). Em outro trabalho, com nado amarrado, o objetivo foi identificar as relações entre desempenho competitivo e forças de amarração de acordo com a distância, nos quatro nados, e analisar se os valores relativos da produção de força são mais determinantes do desempenho da natação que os valores absolutos. O teste de natação atada parece ser um protocolo confiável para avaliar a produção de força do nadador e um estimador útil do desempenho competitivo (MOROUÇO et al., 2011). Isso pode ser indicativo que as forças internas que afetam o nadador podem ser extraídas deste tipo de protocolo. Corroborando com esta temática, em outro estudo de Morouco et al., (2015), os resultados obtidos apontam que as variáveis de força de membros inferiores durante a ondulação subaquática podem ter um papel importante para o nadador.

Na tentativa de entender as forças, o desenvolvimento da robótica bioinspirada levou a avaliar a estrutura de fluidos ligados ao deslocamento na natação. Contudo, esta abordagem não é completamente satisfatória pois a locomoção resulta da interação do organismo com seus arredores (GROSS; ROUX; ARGENTINA, 2019). Dada a gama potencial da força, é preciso compreender que o corpo na água sugere uma estratégia motora geral de modulação de potência consistente em ambientes físicos (LAUER; ROUARD; VILAS-BOAS, 2017).

No modelo animal, a definição de eficiência da propulsão mostra que as considerações biomecânicas são mais importantes que a hidrodinâmica, e que provavelmente os peixes ajustam seus movimentos para maximizar a relação entre a energia produzida (o produto do impulso e a distância) e a energia química consumida pelos músculos (IOSILEVSKII, 2017).

Esta condição justifica-se pela dificuldade com que o ambiente aquático se apresenta para os pesquisadores. O fluido, no caso a água, depende de forças como empuxo, densidade, viscosidade e tensão superficial, que, quando colocadas na equação de forças internas, causam confusão, levando muitos estudiosos da área a recolherem-se às avaliações simples. Existem, inclusive, os determinantes biofísicos relacionados ao desempenho da natação, que são um dos tópicos mais atraentes da ciência da natação (MOROUÇO et al., 2018). De fato, a simulação matemática, através de cálculo de mecânica de fluidos, leva consigo pesadas quantificações de variáveis que, até duas décadas atrás, não poderia sequer ser pensadas. Hoje com o avanço das pesquisas pode-se começar a entender estes fenômenos na sua complexidade.

Consequentemente, os estudos fornecem evidências convincentes de que, num futuro próximo, como no presente, o CFD fornecerá novos argumentos para definir novas técnicas ou equipamentos de natação (MARINHO et al., 2010). Determinar o impacto dos movimentos de cada nadador no fluxo de fluido e vice-versa é um grande desafio (GUIGNARD et al., 2017). Não obstante, estes cálculos ainda carecem de validade ecológica quanto a sua produção. Assim, é urgentemente necessária uma comparação entre simulações numéricas, experimentos e teoria para observar se o efeito é significativo (VAN HOUWELINGEN et al., 2017).

Faz-se necessário, assim, usar as tecnologias emergentes e concatenar estas com novas formas de avaliação. Com isso, o potencial para novas produções na área das forças internas, que são geradas durante o nado, são uma demanda atual, sendo que esta pode ser respondida usando as metodologias existentes.

1.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme esta revisão apresenta, é possível observar que os estudos que abordam as forças internas geradas no nadador são escassos na literatura. Ainda falta desenvolver tecnologias que possibilitem aferir as forças do nadador durante o nado, para que seja possível avançar no conhecimento sobre estes fenômenos. Como sugestão para novos trabalhos segue a ideia de que é necessário quantificar a real força gerada pelo nadador. E, para isso, como sugestão de patente de produto, os

esportes aquáticos carecem de tecnologia para tal quantificação de força, deixando uma lacuna para desenvolvedores que queiram investir em tecnologias de quantificação de força na água. Certamente este produto servirá para pesquisadores, técnicos, profissionais da área e nadadores a entender esta variável que se mostra tão importante, porém, está tão subestimada.

1.6 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

Este estudo apresenta limitações quanto ao número de idiomas que foram sugeridos na busca. Sendo que apenas artigos em português, espanhol, francês e inglês entraram para análise final. A base de busca EMBASE também foi um limitador na elaboração desta revisão. Esta base não possui acordo com as instituições vinculadas na pesquisa, tornando sua inclusão impossibilitada.

REFERÊNCIAS

ACKLAND, T. R.; ELLIOT, B. C.; BLOOMFIELD, J. **Anatomia e biomecânica aplicadas no esporte** Barueri: Manole, , 2011.

AMADIO, A. C.; SERRÃO, J. C. A biomecânica em educação física e esporte. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 25, n. spe, p. 15–24, 2011.

BANKS et al. An analysis of a swimmer's passive wave resistance using experimental data and CFD simulations. **Biomechanics and Medicine in Swimming**, p. 1–6, 2014.

BARBOSA, T. M. et al. Energetics and biomechanics as determining factors of swimming performance: updating the state of the art. **J Sci Med Sport**, v. 13, n. 2, p. 262–269, 2010.

BARBOSA, T. M. et al. Assessment of passive drag in swimming by numerical simulation and analytical procedure. **J Sports Sci**, v. 36, n. 5, p. 492–498, 2018.

BEER, F. et al. **Mecânica Vetorial para Engenheiros-: Dinâmica**. [s.l.] Bookman Editora, 2019.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R.; MAZUREK, D. F. **Mecânica Vetorial para Engenheiros-: Estática**. [s.l.] McGraw Hill Brasil, 2019.

BHALLA, A. P. S.; GRIFFITH, B. E.; PATANKAR, N. A. A forced damped oscillation framework for undulatory swimming provides new insights into how propulsion arises in active and passive swimming. **PLoS Comput Biol**, v. 9, n. 6, p. e1003097–e1003097, 2013.

BIXLER, B.; PEASE, D.; FAIRHURST, F. The accuracy of computational fluid dynamics analysis of the passive drag of a male swimmer. **Sports Biomech**, v. 6, n. 1, p. 81–98, 2007.

BIXLER, B.; RIEWALD, S. Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. **J Biomech**, v. 35, n. 5, p. 713–717, 2002.

COHEN, R. C. Z. et al. Forces during front crawl swimming at different stroke rates. **Sports Engineering**, v. 21, n. 1, p. 63–73, 2018.

COHEN, R. C. Z.; CLEARY, P. W.; MASON, B. Improving Understanding of Human Swimming Using Smoothed Particle Hydrodynamics. In: LIM, C. T.; GOH, J. C. H. (Eds.). . **6th World Congress of Biomechanics**. IFMBE Proceedings. [s.l.: s.n.]. v. 31p. 174–177.

CONNABOY, C. et al. The key kinematic determinants of undulatory underwater swimming at maximal velocity. **J Sports Sci**, v. 34, n. 11, p. 1036–1043, 2016.

CORDEIRO¹, A. M. et al. Revisão sistemática: uma revisão narrativa. 2007.

FLECK, S. J.; KRAEMER, W. J. **Fundamentos do treinamento de força muscular**. [s.l.] Artmed Editora, 2017.

GARHAMMER, I. A Review of power output studies of olympic and powerlifting: methodology, performance. **Journal of Strength and conditioning Research**, v. 7, n. 2, p. 76–89, 1993.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. [s.l: s.n.].

GROSS, D.; ROUX, Y.; ARGENTINA, M. Curvature-based, time delayed feedback as a means for self-propelled swimming. **Journal of Fluids and Structures**, v. 86, p. 124–134, 2019.

GUIGNARD, B. et al. Different Muscle-Recruitment Strategies Among Elite Breaststrokers. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 10, n. 8, p. 1061–1065, 2015.

GUIGNARD, B. et al. Individual–Environment Interactions in Swimming: The Smallest Unit for Analysing the Emergence of Coordination Dynamics in Performance? **Sports Medicine**, v. 47, n. 8, p. 1543–1554, 2017.

IOSILEVSKII, G. The undulatory swimming gait of elongated swimmers revisited. **Bioinspir Biomim**, v. 12, n. 3, p. 36005, 2017.

JOHNSON, C.; PHILIPPIDES, A.; HUSBANDS, P. Simulating Soft-Bodied Swimmers with Particle-Based Physics. **Soft Robotics**, v. 6, n. 2, p. 263–275, 2019.

KEYS, M.; LYTTLE, A. **Computational fluid dynamics - A tool for future swimming technique prescription**. [s.l: s.n.].

LAMAS, M. I. et al. Three-dimensional cfd analysis to study the thrust and efficiency of a biologically-inspired marine propulsor. **Polish Maritime Research**, v. 18, n. 1, p. 10–16, 2011.

LAUER, J. et al. Breaststroke swimmers moderate internal work increases toward the highest stroke frequencies. **J Biomech**, v. 48, n. 12, p. 3012–3016, 2015.

LAUER, J.; ROUARD, A. H.; VILAS-BOAS, J. P. Modulation of upper limb joint work and power during sculling while ballasted with varying loads. **The Journal of Experimental Biology**, v. 220, n. 9, p. 1729–1736, 2017.

LOSS et al. Cálculo De Forças E Momentos Articulares Resultantes Pelo Método Da Dinâmica Inversa. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 23, n. 3, p. 93–104, 2002.

MAGLISCHO, E. W. Swimming Propulsion. **Journal of the International Society of Swimming Coaching**, v. 3, n. 1, p. 4–80, 2013.

MANTHA, V. R. et al. The 3D CFD Study of Gliding Swimmer on Passive Hydrodynamics Drag. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 57, n. 2, p. 302–308, 2014.

MARINHO, D. A. et al. **Swimming simulation: A new tool for swimming research and practical applications** **Lecture Notes in Computational Science and Engineering**, 2009. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-78651546533&doi=10.1007%2F978-3-642-04466-3_2&partnerID=40&md5=ebb7c906ca4e3e9413dc5479220dcea5>

MARINHO, D. A. et al. Modelling swimming hydrodynamics to enhance performance. **Open Sports Sciences Journal**, v. 3, n. 1, p. 43–46, 2010.

MOROUÇO, P. et al. Relationship between tethered forces and the four swimming techniques performance. **J Appl Biomech**, v. 27, n. 2, p. 161–169, maio 2011.

MOROUÇO, P. G. et al. Relative Contribution of Arms and Legs in 30 s Fully Tethered Front Crawl Swimming. **Biomed Res Int**, v. 2015, p. 563206, 2015.

MOROUÇO, P. G. et al. Intracyclic Variation of Force and Swimming Performance. **Int J Sports Physiol Perform**, v. 13, n. 7, p. 897–902, 2018.

MOURA, N. A. Treinamento da força muscular. **Cohen, M.; Abdalla, RJ Lesões nos Esportes–Diagnóstico, Prevenção, Tratamento**. Rio de Janeiro: Revinter, 2003.

POPA, C. V. et al. Influence of a postural change of the swimmer's head in hydrodynamic performances using 3D CFD. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 17, n. 4, p. 344–351, 2014.

SAMSON, M. et al. Unsteady forces on a hand in swimming in impulsive start configuration. **Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering**, v. 20, n. sup1, p. 187–188, out. 2017.

SANTOS, K. B. et al. The Relationship Between Propulsive Force in Tethered Swimming and 200-m Front Crawl Performance. **J Strength Cond Res**, v. 30, n. 9, p. 2500–2507, 2016.

SHUMWAY-COOK, A.; WOOLACOTT, M. **Controle Motor - Teoria e Aplicações Práticas**. [s.l: s.n.].

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação - 4a edição. **Portal**, 2005.

STONE, M. et al. How much strength is necessary? **Physical Therapy in Sport - PHYS THER SPORT**, v. 3, p. 88–96, 1 maio 2002.

TOR, E.; PEASE, D. L.; BALL, K. A. How does drag affect the underwater phase of a swimming start? **J Appl Biomech**, v. 31, n. 1, p. 8–12, 2015.

VAN HOUWELINGEN, J. et al. The effect of finger spreading on drag of the hand in human swimming. **J Biomech**, v. 63, p. 67–73, 2017.

WILLEMS, T. M. et al. The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. **Hum Mov Sci**, v. 36, p. 167–176, 2014.

XIE, O.; LI, B. Q.; YAN, Q. Computational and experimental study on dynamics behavior of a bionic underwater robot with multi-flexible caudal fins. **Industrial Robot**, v. 45, n. 2, p. 267–274, 2018.

ZAIDI, H. et al. Analysis of the effect of swimmer's head position on swimming performance using computational fluid dynamics. **Journal of Biomechanics**, v. 41, n. 6, p. 1350–1358, 2008.

ANEXOS E APÊNDICES

Figura referente ao Prisma em inglês.

Quadro dos artigos encontrados em inglês

YEAR	AUTHOR	COUNTRY	GOALS	SAMPLE	METHODOLOGY	CONCLUSION
2015	Lauer, et al.	Norway, France, Italy	1 – Provide a simple predictive equation to estimate the mechanical internal work of breaststroke swimming. 2 - Explore the frequency-internal work relation ship in swimming, and contrast aquatic vs terrestrial locomotion.	4 men 4 woman	The kinematic data were obtained by markers positioned at 3 locations in the swimmers. Six cameras with 100Hz frequency on submerged tripods. The calibrator had a volume of about 37.5m ³ . The body was modeled as 13 rigid segments (feet, legs, thighs, hands, arms, forearms and trunk). MATLAB software was used. For the calculation of mechanical internal work velocity was calculated by derived from the positions of the segments and their respective differences in the absolute coordinates of the segment. Each set was projected in the sagittal plane, the minimum and maximum values determined, and the calculated angular expansion. The internal work was found by the total body mass and distance that the segment went through.	A simple yet accurate predictive equation was devised to estimate the internal work of breast stroke swimming. This is avalluable component of a more comprehensive model including Wext, which would predict the metabolic energy expenditure associated to a given speed and stroke frequency in breast stroke swimming. It shed light on the swimmers ability to moderate the increase in Wint at the highest stroke frequencies. Such capacity, never observed before in humans. A deeper understanding of the energy flow between the body segments and the environment is required to ascertain the possible dependency between Wint and Wext.
2016	Lauer, Rouard, Vilas-Boas	Portugal France	Test the methodological hypothesis that CFD, when integrated with inverse dynamics, could reliably beused to assess upper limb joint load in water.	7 swimmers (experienced)	Participants swam in a 25m long by 2m deep pool. Swimmers had a weight of 4 kg (effective water weight: 34N tied to body. 3D kinematics data were captured in the inertial coordinate system (ICS) by automatically tracking 12 reflective markers, using a 12-camera. A volume of approximately 9m ³ (3 m long, 2m wide, 1.5m deep) was calibrated using an L-shaped.	The forces in the aquatic environment applied to the body were around 16,774.4 N. When compared to the force produced in the program, present in the numerical simulations, the result was 16,474.2 N. So the difference found was 1, 27%. The upper limb load was within 5% of body weight. This indicates a low load for the swimmer.

Apêndice 1 – Busca

Base de Dados	Busca
Pubmed (11 de Agosto de 2019)	((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((((((Fenômenos Biomecânicos) OR Fenômenos Biomecânicos) OR Phénomènes Biomécaniques) OR Biomechanical Phenomena) OR Biomechanic Phenomena) OR Mechanobiological Phenomena) OR Biomechanic Phenomenas) OR Kinematics))) OR (((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((Inverse Dynamics) OR Dinâmica inversa) OR Dinámica inversa) OR Dynamique Inverse))) OR (((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((Computational Fluid Dynamics) OR Dinâmica de fluidos computacional) OR Dynamique des fluides computationnelle) OR Dinâmica dos Fluidos Computacional))
Web of Science (11 de Agosto de 2019)	
Cochrane (11 de Agosto de 2019)	
Medline (11 de Agosto de 2019)	
Scielo (11 de Agosto de 2019)	
Lilacs (11 de Agosto de 2019)	
Scopus (11 de Agosto de 2019)	((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Fenômenos Biomecânicos") OR "Fenómenos Biomecânicos") OR "Phénomènes Biomécaniques") OR "Biomechanical Phenomena") OR "Biomechanic Phenomena") OR "Mechanobiological Phenomena") OR "Biomechanic Phenomenas") OR "Kinematics")) OR ((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Computational Fluid Dynamics") OR "Dinâmica de fluidos computacional") OR "Dynamique des fluides computationnelle") OR "Dinâmica dos Fluidos Computacional")) OR ((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Inverse Dynamics") OR "Dinâmica inversa") OR "Dinámica inversa") OR "Dynamique Inverse"))

Appendix 1 - Search

Database	Search
Pubmed (11 August 2019)	((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((((((Fenômenos Biomecânicos) OR Fenômenos Biomecânicos) OR Phénomènes Biomécaniques) OR Biomechanical Phenomena) OR Biomechanic Phenomena) OR Mechanobiological Phenomena) OR Biomechanic Phenomenas) OR Kinematics))) OR (((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((Inverse Dynamics) OR Dinâmica inversa) OR Dinámica inversa) OR Dynamique Inverse))) OR (((((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager)) AND (((Computational Fluid Dynamics) OR Dinâmica de fluidos computacional) OR Dynamique des fluides computationnelle) OR Dinâmica dos Fluidos Computacional))
Web of Science (11 August 2019)	
Cochrane (11 August 2019)	
Medline (11 August 2019)	
Scielo (11 August 2019)	
Lilacs (11 August 2019)	
Scopus (11 August 2019)	((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Fenômenos Biomecânicos") OR "Fenómenos Biomecânicos") OR "Phénomènes Biomécaniques") OR "Biomechanical Phenomena") OR "Biomechanic Phenomena") OR "Mechanobiological Phenomena") OR "Biomechanic Phenomenas") OR "Kinematics")) OR ((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Computational Fluid Dynamics") OR "Dinâmica de fluidos computacional") OR "Dynamique des fluides computationnelle") OR "Dinâmica dos Fluidos Computacional")) OR ((TITLE-ABS-KEY((((swimming) OR natação) OR natación) OR nager) AND TITLE-ABS-KEY((((("Inverse Dynamics") OR "Dinâmica inversa") OR "Dinámica inversa") OR "Dynamique Inverse"))

Enviado: Novembro, 2019.

Aprovado: Novembro, 2019.