

**LABORATÓRIO DE BIOMECÂNICA DO PORTO:
ENSINO, INVESTIGAÇÃO E SERVIÇOS À COMUNIDADE**

**PORTO BIOMECHANICS LABORATORY:
TEACHING, RESEARCH AND COMMUNITY SERVICES**

**LABORATORIO DE BIOMECÁNICA DE PORTO:
DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS A LA COMUNIDAD**

João Paulo Vilas-Boas

<https://orcid.org/0000-0002-4109-2939> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
jpvb@fade.up.pt

Pedro Filipe Pereira da Fonseca

<https://orcid.org/0000-0002-4885-4924> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
pedro.labiomep@fade.up.pt

Manoela Vieira Sousa

<https://orcid.org/0000-0003-2141-0829> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
manoelavsousa@fade.up.pt

Ricardo Sebastião

<https://orcid.org/0000-0002-7310-7509> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
rsebastiao@fade.up.pt

Diogo Carvalho

<https://orcid.org/0000-0001-8871-5614> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
diogoduarte_03@hotmail.com

João Pedro Duarte

<https://orcid.org/0000-0002-7536-9780> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
jpmd@fade.up.pt

Rodrigo Zacca

<https://orcid.org/0000-0003-0494-0000> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
rzacca@fade.up.pt

Márcio Fagundes Goethel

<https://orcid.org/0000-0003-4382-0159> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
gbiomech@fade.up.pt

**Márcio Borgonovo-Santos**

<https://orcid.org/0000-0001-7930-1620> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
marcio.santos@riedel.net

Susana Soares

<https://orcid.org/0000-0002-8313-8181> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
susana@fade.up.pt

Filipa Sousa

<http://orcid.org/0000-0002-4084-1942> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
filipas@fade.up.pt

Leandro Machado

<http://orcid.org/0000-0001-5332-5974> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
lmachado@fade.up.pt

Ricardo J. Fernandes

<http://orcid.org/0000-0002-5811-0443> 
Universidade do Porto (Porto, Portugal)
ricfer@fade.up.pt

Resumo

O Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEUP-UP) é um centro de competências da Universidade do Porto dedicado ao ensino, investigação científica e tecnológica, inovação, prestação de serviços técnicos especializados e transferência de conhecimento e tecnologia em Biomecânica (humana e animal) de interesse ergonómico, clínico, desportivo ou biomimético (ex: design, animação computacional e desenvolvimento de modelos). A missão do LABIOMEUP-UP é catalisar o potencial de crescimento e vantagem competitiva da Universidade do Porto em todos os domínios direta ou indiretamente relacionados com a Biomecânica, incluindo a interação com o tecido industrial e comercial.

Palavras-chave: Desporto; Saúde; Biofísica; Biomecânica; Fisiologia; I&D+i.

Abstract

Porto Biomechanics Laboratory is a technological centre of the University of Porto dedicated to teaching, scientific and technological research, innovation, to provide specialized technical services and transference of knowledge and technology (product development) in Biomechanics (human and animal) of ergonomic, clinical, sports or biomimetic interest (e.g. design, computer animation and model development). LABIOMEUP-UP mission is to catalyse the growth potential and competitive edge of University of Porto in all domains directly or indirectly related to Biomechanics, including the interaction with industry.

Keywords: Sports; Health; Biophysics; Biomechanics; Physiology; R&D+i

Resumen

El Laboratorio de Biomecánica de Porto es un centro tecnológico de la Universidad de Porto dedicado a la docencia, la investigación científica y tecnológica, la innovación, proporcionar servicios técnicos especializados y transferencia de conocimiento y tecnología (desarrollo de productos) en Biomecánica (humana y animal) de ergonomía, clínica, deportiva, o interés biomimético (por ejemplo, diseño, animación por computadora y desarrollo de modelos). La misión de LABIOMEUP-UP es catalizar el potencial de crecimiento y la ventaja competitiva de la Universidad de Oporto en todos los dominios relacionados directa o indirectamente con la biomecánica, incluida la interacción con la industria.

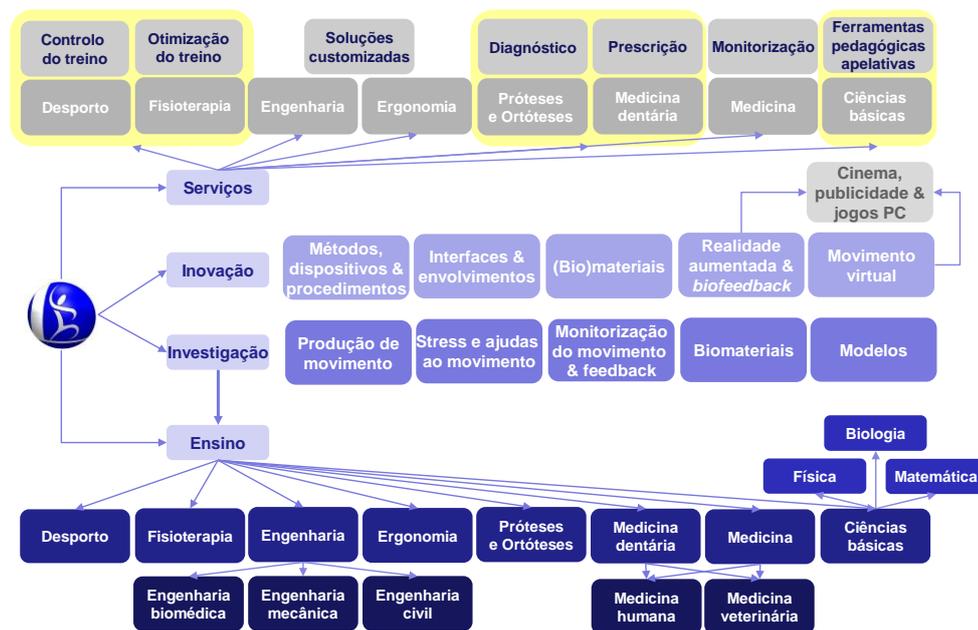
Palabras llave: Deportes; Salud; Biofísica; Biomecánica; Fisiología; I&D+i



INTRODUÇÃO

O Laboratório de Biomecânica do Porto (LABIOMEPEP-UP) é um Centro de Competências da Universidade do Porto com a função de promover e incentivar, de uma maneira transversal a todas as Unidades Orgânicas da Universidade, a qualidade e a interdisciplinaridade nas atividades de formação, investigação e desenvolvimento e inovação (I&D+i) nos domínios da Biomecânica e áreas afins (em que possui competência e recursos tecnológicos), através do fomento da cooperação interna na Universidade do Porto e da agregação de recursos e serviços para uso partilhado e integrado. Complementarmente, é também objetivo do LABIOMEPEP-UP prestar serviços à comunidade, garantindo aprofundada e profícua transferência de conhecimento e translação de tecnologia instalada e a desenvolver.

O LABIOMEPEP-UP é um laboratório da Universidade do Porto que se relaciona de forma privilegiada com várias unidades orgânicas e institutos de interface com o tecido empresarial, conferindo-lhe um estatuto de singularidade quando se perspetiva a massa crítica envolvida, a capacidade laboratorial complementar (outros laboratórios colaborativos) e o potencial sinérgico para a mais aprofundada, complexa, diversificada e abrangente problematização da Biomecânica. Neste contexto, a visão do LABIOMEPEP-UP estende-se pela centralização dos serviços da Universidade do Porto no domínio da Biomecânica, passando pelo apoio à docência graduada e pós-graduada, pela formação ao longo da vida, pela formação à distância, pela investigação científica, desenvolvimento tecnológico e inovação, pela prestação de serviços de desenvolvimento e otimização, certificação, avaliação e prescrição em todos os contextos onde forças produzidas e aplicadas por e a sistemas biológicos estejam em questão. A Figura 1 mostra um diagrama representativo da “Visão” da atividade deste Centro de Competências.

**Figura 1** – Representação esquemática dos eixos nucleares da atividade do LABIOMEUP-UP

Fonte: construção dos autores.

São os seguintes os eixos de intervenção do LABIOMEUP-UP: (i) apoio técnico e científico à realização de trabalhos de I&D+i (instalação e desenvolvimento de novas tecnologias e equipamentos, observação, caracterização e estudo de sistemas biomecânicos e de técnicas de análise já existentes ou a criar, participação em projetos de investigação, desenvolvimento e demonstração, apoio a trabalhos de pós-graduação e colaboração na implementação de projetos de desenvolvimento industrial, empresarial e associativo); (ii) promoção e divulgação de conhecimentos e técnicas de base em Biomecânica (organização e promoção da realização de cursos de formação científica, técnica, reciclagem e aperfeiçoamento, prestação de apoio à atividade letiva no ensino superior em especial à de natureza laboratorial, promoção e apoio à realização de cursos, colóquios, congressos ou reuniões de caráter técnico-científico nos domínios da Biomecânica ou áreas afins e estimulação à difusão dos conhecimentos técnico-científicos obtidos pela realização de trabalhos de qualquer índole, publicando-os em revistas da especialidade com arbitragem científica, em meios de grande divulgação de ciência, em livro e em eventos vários); (iii) prestação de serviços (de avaliação, controlo e monitorização de processos de otimização de sistemas biomecânicos, nomeadamente clínicos, ergonómicos, de segurança, de desempenho - em contexto de aprendizagem e treino); (iv) design e desenvolvimento de produto,



customizado e otimizado biomecanicamente, nomeadamente de dispositivos e interfaces para o utilizador (ex: vestuário, calçado, ortóteses, próteses, pisos, dispositivos e ferramentas); (v) desenvolvimento de ferramentas pedagógicas e de divulgação científica na área da Biomecânica.

DESENVOLVIMENTO

Um laboratório universitário de biomecânica pode ser percebido de várias formas, dependendo do observador: o local onde os docentes realizam investigação, um ambiente de aprendizagem (para atividades letivas dos vários ciclos de estudos), uma infraestrutura para conduzir momentos experimentais de várias ordens e obter novos conhecimentos, uma rede social de partilha de conhecimento ou um local para prestação de serviços a diferentes entidades externas à academia. Seals (2021) refere, inclusivamente, que um laboratório académico deve também ser visto como uma pequena empresa, um negócio, que produz produtos e fornece serviços (sobretudo aqueles que os nossos “clientes” procuram, valorizam, apoiam ou compram e usam para as necessidades das suas próprias organizações). Na Tabela 1 encontram-se descritos os produtos e serviços nos quais as atividades do LABIOMEUP-UP estão centradas.

Tabela 1 – Resumo dos produtos e serviços associados às atividades do LABIOMEUP-UP

Serviços	Variáveis analisadas
Análise (clínica) de marcha (e outras atividades motoras cíclicas e acíclicas), caracterização postural e do posto de trabalho	Parâmetros cinemáticos 3D, cinemática 2D de muito alta velocidade, dinâmica inversa, forças de reação do solo, podobarometria dinâmica (pressões plantares) e conforto térmico (idem em condições ecológicas)
Regulação postural e equilíbrio	Identificação das oscilações corporais (estabilograma e estatoquinesigrama no plano transversal)
Pressões plantares	Identificação dos padrões de distribuição de pressão plantar, monitorização da migração do centro de pressão bilateral, pressão máxima e média por zona plantar e força normal ao contacto
Ativação muscular, força, treino e reabilitação	Comparações agonista/antagonista, níveis de força/momento de força, ativação muscular (tempo, intensidade, frequência), caracterização das unidades motoras recrutadas e comparações pré e pós-treino, pós-operatório e pós-reabilitação



Eletrofisiologia	Eletromiografia (incluindo subaquática), ativação muscular (tempo, intensidade e frequência) e caracterização das unidades motoras recrutadas
Ultrassonografia	Arquitetura muscular e tendinosa (comprimento fascicular, ângulo de penação, espessura muscular, encurtamento muscular e rigidez musculotendinosa <i>in vivo</i>), ecocardiografia e elastografia
Antropometria digital	Forma e dimensões corporais (discriminação segmentar), comprimentos, diâmetros, perímetros e circunferências, e modelação 3D (levantamento de forma)
Bioimpedância	Índice de massa muscular corporal e segmentada, e índice de gordura corporal e segmentada
Caracterização mecânica de biomateriais e materiais biológicos	Relação tensão / deformação, rigidez, tensão limite, histerese, relaxamento em tensão e <i>creeping</i> (ensaios estáticos e dinâmicos)
Flexibilidade	Protocolos de testes de flexibilidade associados a captura de movimento 3D
Termografia	Mapeamento térmico da superfície da pele, comparações pré e pós-treino, pós-lesão, pós-patologia, pós-operatório e pós-reabilitação e auxiliar de diagnóstico através de reação a choque-térmico
Bioenergética (em seco e na água)	Determinação do consumo máximo de oxigênio e cinética do consumo de oxigênio, determinação do custo energético e da economia motora, e determinação de concentrações de lactatemia capilar
Dinamometria hidrodinâmica	Determinação do arrasto hidrodinâmico ativo, determinação do arrasto passivo por dinâmica inversa, caracterização de forças aplicadas em apoios sólidos mas em meio subaquático (viragens em natação e marcha e corrida subaquática em hidroterapia)
Avaliação postural e ergonomia	Identificação da posição e relação dos segmentos corporais, caracterização ergonômica de membros inferiores, superiores e corpo-inteiro em contexto laboral e interação do sujeito com objetos e o meio envolvente

Fonte: construção dos autores.

É neste contexto que se estabeleceram várias parcerias e projetos, alguns das quais serão, seguidamente, objeto de descrição sumária a título de exemplo da atividade do laboratório.

AVALIAÇÃO CLÍNICA DA MARCHA

O LABIOMEUP-UP tem vindo a implementar métodos de avaliação objetiva e detalhada da marcha e a apostar na sua translação para o apoio à decisão clínica. Este serviço



decorre há já cinco anos como meio de suporte à decisão clínica e ao desenvolvimento do conhecimento científico, sendo solicitado por médicos do serviço nacional de saúde (SNS) e de clínicas privadas, para identificar padrões e informações relevantes ao tratamento de diversas patologias dos membros inferiores.

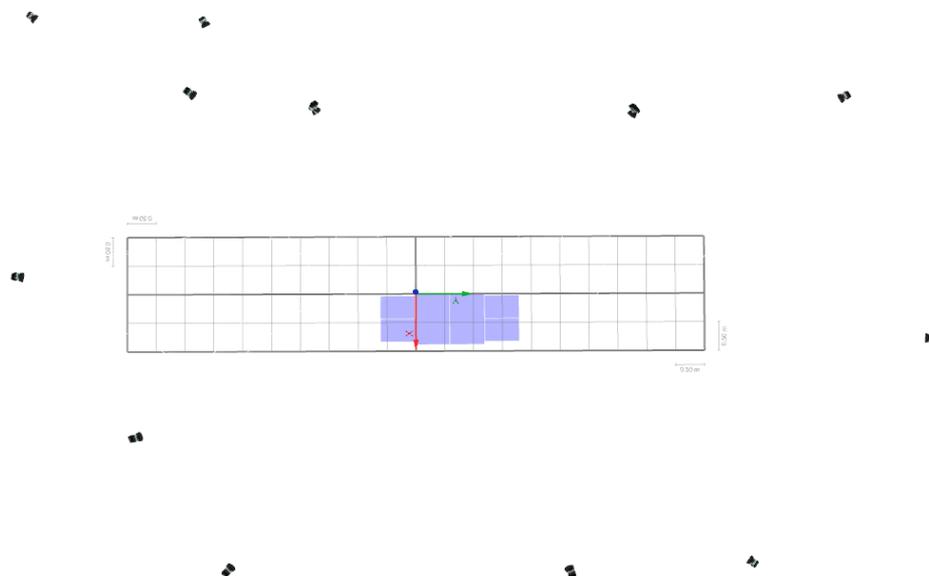
O sucesso da aplicação desta tipologia de serviço é, em grande parte, fomentado pelo uso sinérgico de equipamentos laboratoriais robustos para medição de movimento (cinemetria), forças (dinamometria) e atividade mioelétrica (eletromiografia - EMG), alicerçados pela aplicação de modelos biomecânicos apropriados e ao processamento de dados potenciado pelos softwares mais conceituados como o Visual3D (C-Motion, EUA), o OpenSim (DELP et al., 2007) e o AnyBody (AnyBody Technologies, Dinamarca).

A análise de marcha é realizada num corredor de 10 metros úteis de comprimento, no centro do qual se encontra um conjunto de seis plataformas de força, das quais se incluem 5 extensiométricas (Bertec Inc., EUA) – duas 60x90 e três 60x40 – e uma piezoelétrica (Kistler, Suíça, 60x40). A localização destas plataformas coincide com a “área de performance” do laboratório, com 3 m de comprimento e 2 m de largura, na qual é geralmente calibrado o sistema de 12 câmaras de infravermelhos (Qualisys AB, Suécia). Uma ilustração destes equipamentos pode ser observada na Figura 2. De particular nota é o arranjo das plataformas de força adotado pelo LABIOMEUP, que nos permite o registo de quatro apoios consecutivos (2 ciclos de marcha) de qualquer membro inferior, independentemente do primeiro apoio ter sido realizado pelo membro direito ou esquerdo. Para situações de marcha comprometida, em particular aquelas caracterizadas pelo encurtamento da passada, este posicionamento permite ainda a recolha de um apoio direito e esquerdo nas duas primeiras plataformas da área de performance. Estes equipamentos operam em sincronia, podendo ainda ser adicionado um sistema de EMG sem fios (Delsys, EUA) permitindo o registo da atividade elétrica muscular.

Todas as opções metodológicas disponíveis para a exploração da marcha são muito frequentemente completadas por soluções podobarométricas, capacitivas e resistivas, vestíveis (palmilhas inseríveis em calçado próprio, em calçado customizado, ou em calçado neutro) ou com base em tapetes instrumentados, que permitem conhecer a distribuição de esforços (pressões) pela superfície de contacto entre os pés e o solo, ou entre a superfície plantar do pé e o calçado.



Figura 2 – Distribuição das 12 câmaras de captura de movimento e plataformas de força ao longo do corredor de marcha do LABIOMEUP



Nota: Sobre as plataformas encontra-se indicação do eixo de coordenadas implementado. Cada quadricula do corredor de marcha corresponde a 0.50 metros

Fonte: construção dos autores.

O estudo cinemático da locomoção no LABIOMEUP pode ainda ser realizado com base em tecnologia inercial, recorrendo ao “padrão-ouro” atual neste domínio: o sistema Xsens (Países Baixos) (<https://www.xsens.com/>). Esta solução é implementada em contexto ambulatório, quando se torna clinicamente recomendável a exploração de especificidades biomecânicas em situações de vida diária, fora do ambiente laboratorial, potenciando-se o enquadramento ecológico do estudo. Em contrapartida, importa referir que, apesar de impondo constrangimentos de validade ecológica reconhecidos, o LABIOMEUP dispõe de um tapete rolante instrumentado (AMTI, USA) com duas plataformas de força em tandem, com 6 graus de liberdade, proporcionando a possibilidade de realização de marcha contínua por períodos longos e a exploração de efeitos de fadiga (PEREIRA; GONÇALVES, 2017).

As ferramentas antes descritas foram extensivamente utilizadas nos projetos que descrevemos em seguida, o primeiro dos quais focado no desenvolvimento de ortóteses ativas, inteligentes, coadjuvantes da locomoção em diferentes contextos, muito em especial para os sobreviventes de acidentes vasculares cerebrais (AVC).



ORTOTETIZAÇÃO ATIVA INTELIGENTE, COADJUVANTE DA MARCHA

Dados da Organização Mundial de Saúde sustentam que aproximadamente 15 milhões de pessoas sofrem de acidente vascular cerebral (AVC) por ano. Este tipo de acometimento causa um expressivo impacto socioeconómico e severos prejuízos para a qualidade de vida dos pacientes, sendo necessário o desenvolvimento de soluções terapêuticas tão eficazes e rápidas quanto possível, com o intuito de restaurar, pelo menos parcialmente, a função e a vida independente dos indivíduos afetados. Como forma de apoio às soluções terapêuticas mais comuns, sugerem-se soluções que envolvem a ortotetização ativa coadjuvante da locomoção.

O grande objetivo do projeto *Smart, stand-salone active orthotic system* (SmartOs, POCI-01-0247-FEDER-039868) insere-se nestes esforços, por um lado procurando desenvolver um laboratório móvel e portátil capaz de recolher, analisar e fundir informações biomecânicas que quantificarão em tempo real a contribuição do sujeito e o resultado esperado da interação humano-ortótese e, por outro, desenvolvendo uma nova ortótese ativa e inteligente para a reabilitação locomotora personalizada e orientada às necessidades do indivíduo.

Para a implementação deste projeto foi criado um consórcio de entidades do tecido industrial, da área da saúde e da ciência (três empresas e duas entidades do sistema científico e tecnológico), incluindo o LABIOMEUP-UP. Especificamente, o projeto propõe uma solução tecnológica personalizada (*assist-as-needed*) inovadora para o treino de marcha assistida de utilizadores com marcha incapacitada, através de uma ortótese ativa e inteligente para o membro inferior sinergicamente conectada a um laboratório portátil de análise de movimento, ou seja, através da integração de diferentes sistemas sensoriais *wearable* para o diagnóstico biomecânico e fisiológico.

Enquanto copromotor deste projeto, o LABIOMEUP-UP participa com o objetivo de uma análise aprofundada no que diz respeito à configuração, operacionalidade, fiabilidade, durabilidade e usabilidade do sistema, enquanto ferramenta personalizada e vestível para monitorizar a locomoção. Portanto, contribuindo com o estudo biomecânico do sistema ortótico, no sentido de o aproximar às necessidades e apreciação dos utilizadores finais. As avaliações envolvem: (i) operabilidade dos módulos de *hardware* em termos de autonomia, conectividade mecânica, robustez da monitorização, repetibilidade, sensibilidade e resolução sensorial; (ii) operabilidade dos módulos de *software* perante interferências na rede de



comunicação sem fios; (iii) fiabilidade dos sistemas sensoriais, comparativamente aos sistemas de referência embebidos no laboratório de marcha, considerando validações cinemétrica, podobarométrica e da miotensiografia; (iv) funcionalidade das ferramentas computacionais face a desafios de calibração e adaptabilidade ao ambiente e utilizador.

AVALIAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO PARA A INDÚSTRIA DO CALÇADO

Dispondo o LABIOMEUP de soluções vanguardistas para a análise detalhada da marcha e de potenciais efeitos nesta de diferentes fatores “perturbadores”, foi naturalmente desafiado pela indústria do calçado nacional, nomeadamente pelo Centro Tecnológico do Calçado de Portugal (CTCP) para apoiar o desenvolvimento de soluções inovadoras e para a avaliação da qualidade de produtos líderes do mercado internacional. Esta colaboração já decorre há uma dúzia de anos (tendo decorrido durante a criação do LABIOMEUP em 2012), praticamente sem interrupções, tendo sido sucessivamente implementados três projetos em co-promoção: o *Stress-less Shoe*, o *Newalk* e o *Famest*.

STRESS-LESS SHOE

O projeto *Stress-less Shoe* (QREN Nº3470/2008) foi implementado entre 2009 e 2011 e teve como objetivo desenvolver ortóteses plantares passivas, sustentáveis (desenvolvidas em cortiça) e calçado minimizador do stress mecânico da locomoção para indivíduos com sobrepeso, ou em condição de sobrecarga ocasional por transporte de carga. Foi dinamizado através de um consórcio envolvendo entidades de I&DT, entre as quais o LABIOMEUP, articuladas com um conjunto de empresas ligadas à produção e investigação industrial de calçado e ortóteses.

Foram avaliados os efeitos da sobrecarga e da cadência na marcha (CASTRO et al., 2015), em sujeitos em situação de sobrecarga ocasional e com obesidade, em parâmetros cinéticos e podobarométricos (CASTRO et al., 2013, 2014a, 2015). Foi, também, avaliado o efeito das ortóteses plantares desenvolvidas especificamente para mochileiros e sujeitos com obesidade nas forças de reação do solo e na distribuição da pressão plantar (CASTRO et al., 2014b). Estas atividades permitiram definir as especificações de uma ortótese multifuncional e



tipologias de calçado adequadas a este perfil de utilização, bem como proceder à realização dos ensaios de caracterização e validação dos protótipos industriais.

NEWALK

O projeto NEWALK (<https://newalk.ctcp.pt/>; QREN Nº 13850/2009) deu seguimento ao anterior (implementado entre 2011 e 2014) e procurou desenvolver materiais, componentes, dispositivos e tecnologias potenciadores da criação de novas soluções de calçado, assentes nos princípios do conforto e diferenciação. Envolveu 22 empresas inovadoras das áreas do calçado e da moda, a par de oito entidades do Sistema Científico e Tecnológico. O LABIOMEP-UP participou através de análise biomecânica da marcha com diversas tipologias de calçado, tendo avaliado modelos existentes e participado na especificação de novos modelos e respetiva avaliação. Este projeto contribuiu para o desenvolvimento de materiais e modelos específicos, nomeadamente de: (i) calçado para crianças, com especificações ajustadas em função da faixa etária, (ii) calçado de moda, (iii) calçado específico para a população sénior e (iv) calçado de saúde e bem-estar, como calçado com regulação térmica e/ou humidade e minimizador do stress mecânico na superfície plantar do pé. O conhecimento gerado por este projeto potenciou a construção de novos conceitos e produtos de calçado, assim como a consolidação da indústria portuguesa de calçado no mercado internacional.

FAMEST

O projeto FAMEST - *Footwear, Advanced Materials, Equipment's and Software Technologies* (<https://famest.ctcp.pt/>; COMPETE2020 - POCI-01-0247-FEDER-024529) foi o último desta fileira, implementado entre 2017 e 2021. Teve e tem ainda, como objetivo, desenvolver soluções inovadoras de calçado que, por um lado, permitissem minimizar a influência e repercussões na marcha de determinadas patologias (nomeadamente neuropatias periféricas) e, por outro, promovessem o aumento do conforto e a satisfação na sua utilização. Para a sua dinamização foi criado um consórcio integrado por 23 empresas do setor do calçado, produtos químicos, equipamentos e *software*, em sinergia com 11 entidades do Sistema Nacional de Investigação e Inovação, entre os quais o LABIOMEP-UP.

A análise biomecânica da marcha na utilização de diferentes tipologias de calçado, nomeadamente calçado casual/uso intensivo, calçado fisiológico (elevado conforto e baixo



stress mecânico) e calçado de trabalho/militar, permitiu a definição de características biomecânicas associadas ao conforto, em indivíduos saudáveis e com neuropatia diabética. Na avaliação do calçado militar, aferiu-se o efeito da sobrecarga no equilíbrio estático (FONSECA et al., 2021) e nos parâmetros cinéticos e cinemáticos da marcha (SOUSA et al., 2021). Definiram-se, também, as especificações de um calçado biomecânicamente superior, através da análise de parâmetros biomecânicos, nomeadamente da pressão plantar (SEBASTIÃO et al., 2021). Adicionalmente, foi analisado o efeito de modelos de calçado específicos na população com neuropatia diabética, com base em parâmetros cinemáticos, cinéticos, podobarométricos e eletromiográficos.

Os resultados permitiram o desenvolvimento de soluções de calçado inovadoras, competitivas e baseadas no conhecimento, tirando vantagens também do design e preservando a capacidade de produção em Portugal e potenciando a competitividade do setor do calçado português.

PARCERIAS COM A INDÚSTRIA TÊXTIL

A estratégia seguida pela indústria do calçado foi também adotada pela indústria têxtil portuguesa, tendo o Centro Tecnológico da Indústria Têxtil e do Vestuário (CITEVE) catalisado sinergias com o LABIOMEUP para acrescentar valor biomecânico em diferentes áreas de desenvolvimento. Foram até ao momento desenvolvidos dois projetos nesta linha: *"TexBoost - less Commodities more Specialities"* e *"Wear2Heal"*.

TexBoost

O projeto *TexBoost* (<https://www.texboost.pt/>; POCI-01-0247-FEDER-024523) foi um projeto estruturante do Cluster Têxtil: Tecnologia e Moda, que teve como objetivo englobar um conjunto de iniciativas de I&D de forte carácter coletivo e elevado efeito indutor e demonstrador, com o envolvimento central de empresas da fileira Têxtil e Vestuário, mas também de outros sectores complementares da economia, nomeadamente o setor Ciência e I&D+i.

O consórcio de desenvolvimento do *TexBoost* foi liderado por uma empresa do setor (RIOPELE, <https://www.riopele.pt/>) e, sob a coordenação técnica do CITEVE (<https://www.citeve.pt/>), envolveu um total de 43 entidades, sendo 23 empresas industriais de



toda a fileira têxtil e 15 entidades não empresariais do sistema de I&D+i, entre as quais o LABIOMEUP-UP.

A participação do laboratório no projeto *TexBoost* teve por objetivo o desenvolvimento de dois trajes, ou fatos (Figura 3), instrumentados para ciclistas, um vocacionado para a captura de movimento (MoCap) 3D de base inercial, EMG e frequência cardíaca, tudo em tempo real, com a vocação de coadjuvar a avaliação do desempenho e o controlo, avaliação e aconselhamento do treino. O segundo dispositivo, foi desenvolvido para a monitorização da temperatura, humidade e tensão exercida sobre o têxtil em diferentes localizações anatómicas, para além de incorporar o mesmo sistema de MoCap 3D. Este dispositivo foi desenvolvido com o intuito de apoiar a desmaterialização da produção têxtil, favorecendo a rapidez de produção de soluções customizadas que permitam maximizar o conforto e usabilidade dos equipamentos desportivos.

Figura 3 – Equipamentos desenvolvidos pelo projeto *TexBoost* para ciclismo (produção e monitorização do desempenho)



Fonte: construção dos autores.

Wear2Heal

Uma das principais preocupações relacionadas com a prática desportiva é a recuperação muscular após o exercício, permitindo diminuir a conseqüente sensação retardada de desconforto muscular e a fadiga. O projeto “Wear2Heal” (POCI-01-0247-FEDER-039918) procurou gerar soluções têxteis inovadoras e com design apelativo, tendo em vista a

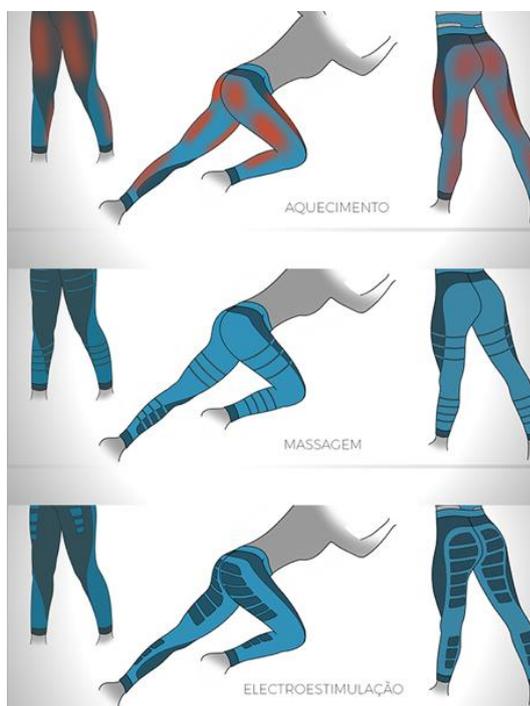


otimização do processo de recuperação após a prática desportiva, em treino ou competição (DUARTE et al., 2019). Tem como promotores diferentes entidades do tecido industrial e de I&D+i, entre as quais o LABIOMEUP-UP e o CITEVE. De entre as empresas parceiras, destacam-se a INTEX TEXTILES S.A. e a HATA.

O principal objetivo do consórcio foi o desenvolvimento de soluções têxteis vestíveis para o membro inferior, que integram eletroestimulação localizada, massagem, compressão e aquecimento ativo localizado. Para o efeito, foram utilizadas tecnologias emergentes, associadas a materiais e processos, nomeadamente a integração e impressão de dispositivos eletrónicos. O desenvolvimento de sistemas inteligentes de massagem e compressão, funciona por introdução de materiais com memória de forma integrados por processos têxteis; e os sistemas inteligentes para electroestimulação e aquecimento, por introdução de fios/fibras condutores.

Os protótipos (Figura 4) contêm as soluções desenvolvidas de forma individual (eletroestimulação, aquecimento, compressão e massagem), ou a combinação destas, sob a forma de uma peça de vestuário adaptada aos membros inferiores. O LABIOMEUP-UP participa neste projeto em termos de desenvolvimento de conceito e na avaliação dos dispositivos têxteis desenvolvidos, tanto de forma individualizada como conjugados numa mesma peça vestível. Os métodos de medição e análise laboratorial estabelecem programas de recuperação integrados numa unidade de monitorização e controlo. O projeto contempla ainda o desenvolvimento de uma aplicação móvel conjuntamente com um sistema de comunicação e hardware.

Figura 4 – Estruturas têxteis avançadas (aquecimento localizado; compressão para massagem localizada; electroestimulação)



Fonte: construção dos autores.

DOR E MOVIMENTO HUMANO

A dor é uma experiência sensorial e emocional desagradável associada a, ou semelhante àquela associada a, dano real ou potencial ao tecido (RAJA et al., 2020). É um fenómeno causado por diversos fatores e que afeta negativamente a qualidade de vida. Especificamente, a dor musculoesquelética tem alta prevalência, afetando indivíduos de todas as idades, incluindo desportistas (KORFF; DUNN, 2008). Assim, devido à dor causar um impacto socioeconómico significativo na população mundial (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017) a literatura tem investido esforço para tentar compreender as alterações causadas pela dor associadas ao controle motor (ERVILHA et al., 2004).

A capacidade de produzir força é extremamente importante, seja nas atividades diárias ou no desempenho de atletas no desporto (AAGAARD et al., 2007). A capacidade de produzir força resulta do desempenho combinado e sincronizado dos sistemas nervosos central e periférico e da função muscular. Portanto, diversos mecanismos podem modificar a capacidade de produzir força, entre eles, por exemplo, a dor, que demonstra provocar alterações na atividade motora (SALOMONI et al., 2016).



Como a dor tem efeitos multidimensionais, estudos envolvendo dor experimentalmente induzida têm sido utilizados como alternativa a estudos clínicos. De entre as vantagens dos estudos experimentais, destaca-se a possibilidade de se realizarem análises pareadas, pois pode-se avaliar o mesmo voluntário nas condições sem e com dor aguda (GRAVEN-NIELSEN et al., 2002; HODGES; TUCKER, 2011). Desta forma, também é possível estudar o efeito da dor em um músculo específico, posto que a infusão de substância alógena é realizada num músculo alvo ou em mais do que um músculo.

Dada a importância da temática que envolve dor e movimento humano, o LABIOMEUP tem implementado, em colaboração com a Universidade de São Paulo, Brasil, através do GDOR (Grupo de Pesquisa em Interações Sensorio-motoras: efeitos da dor muscular no controle do movimento humano), uma série de projetos de investigação que, através da dinamometria, cinemetria, EMG, eletroencefalografia (EEG) e outros métodos de medida, buscam desvendar as nuances dos efeitos da dor no movimento humano. Entre os assuntos inovadores abordados destacam-se: aspetos relacionados ao comportamento neuromuscular e produção de força em atletas e não atletas, em contrações voluntárias e não voluntárias (electroestimulação); recrutamento de unidades motoras através de decomposição de sinal eletromiográfico (dEMG); uso de inteligência artificial para identificação de dor lombar não específica e investigação de padrões cinéticos, cinemáticos, eletromiográficos, eletroencefalográficos, de percepção da dor e de expressão facial em quadros dolorosos.

AValiação e Aconselhamento do Treino Desportivo

Enquanto laboratório de Biomecânica de vocação global, mas sobretudo dada a sua implantação na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto, o LABIOMEUP tem igualmente dedicado parte importante do seu esforço à Biomecânica do Desporto, nomeadamente no que se refere à avaliação de desportistas e aconselhamento desportivo, sobretudo nos domínios do aconselhamento do treino e prevenção de lesões. Têm sido várias as experiências nesta área, em modalidades diversas, passando por desportos coletivos a individuais, realizados em terra ou na água. Foi, de resto, bem interessante a iniciativa que resultou na avaliação e aconselhamento das “Esperanças Olímpicas” das mais diversas modalidades, reunidas no Porto pelo Comité Olímpico de Portugal (COP) em 2020. Todavia, a

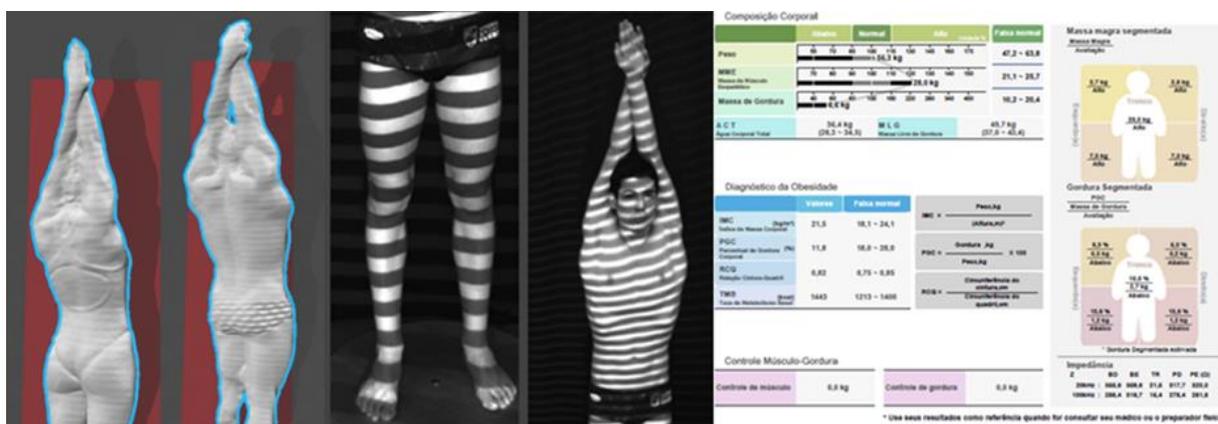


experiência mais relevante tem sido a da natação, nomeadamente no que respeita ao protocolo estabelecido com a Federação Portuguesa de Natação (FPN).

A parceria entre o LABIOMEUP-UP e a FPN está centrada no apoio ao processo de treino das equipas portuguesas de natação pura, natação adaptada, natação de águas abertas e polo aquático, quer de idades mais jovens quer das seleções principais. Esta prestação de serviços tem por objetivo avaliar cada um dos desportistas de elite (ou no percurso para a alta competição) da natação portuguesa, centrando-se nos grupos de fatores mais determinantes do rendimento desportivo de cada especialidade. Para tal, idealizaram-se protocolos de testes dedicados aos praticantes de natação pura e aos jogadores de polo aquático, dos quais retiramos alguns exemplos que passaremos a apresentar.

A **avaliação antropométrica** contempla a medição da massa corporal, índice de massa corporal, altura e outras dimensões lineares relevantes, que permitam a obtenção de índices tidos como determinantes do potencial de performance do praticante, como a razão envergadura/altura e diâmetro biacromial/diâmetro bicristal (FERNANDES et al., 2002). É também obtida uma imagem 3D do sujeito que permite a introdução de diferentes medidas em soluções numéricas de simulação computacional de fluidos (MACHADO et al., 2010). São ainda obtidos dados de composição corporal por bioimpedância, permitindo controlar os percentuais de massa gorda e de massa magra, e a sua repartição segmentar (Figura 5).

Figura 5 – Scanner 3D (Mephisto EX), projeção de luz estruturada sobre um nadador para proporcionar o levantamento 3D da forma corporal (esquerda) e exemplo de relatório de composição corporal global e segmentada (direita)



Fonte: construção dos autores.

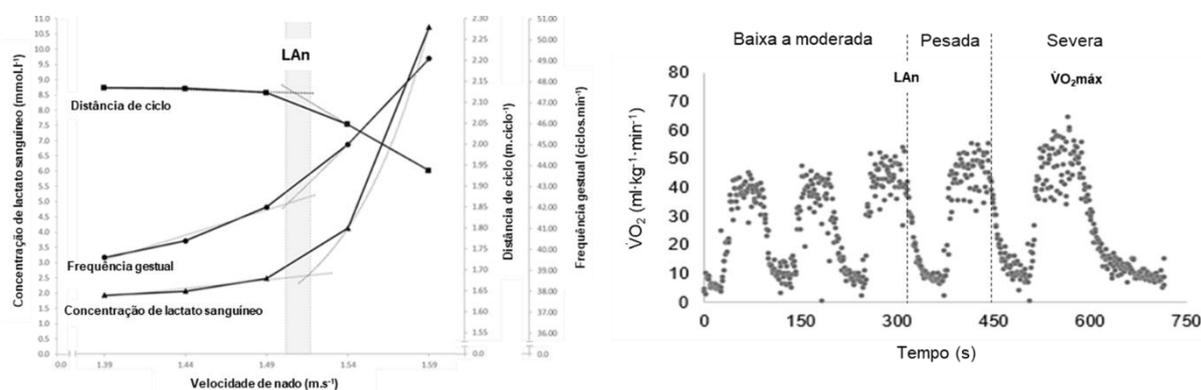


A **avaliação fisiológica** inclui, entre outros, o protocolo incremental de 5x200 m com 30 s de intervalo e aumento de 0.05 m/s a cada patamar até à exaustão (CARVALHO et al., 2020), sendo determinados os valores em repouso, os de cada patamar e os correspondentes ao final do protocolo, de variáveis como a frequência cardíaca, as concentrações de lactato sanguíneo e do consumo de oxigénio. Este último indicador pode ser medido, através de um analisador portátil (*K4b2*, Cosmed, Itália), continuamente durante o nado (usando-se um *snorkel* respiratório) ou imediatamente após o final de cada segmento (analisando-se o ar expirado durante 20 s e estimando-se os valores de exercício por retro extrapolação (MONTEIRO et al., 2020). Durante cada 200 m são também obtidos os tempos de passagem e a frequência gestual utilizando-se um cronómetro com cronofrequencímetro de base 3 (FERNANDES et al., 2010) e subsequente cálculo da distância de ciclo (CARVALHO et al., 2020). Este protocolo permite fornecer aos treinadores dados relativos às intensidades alvo para o treino da resistência e potência aeróbias, permitindo contrastar os dados com as avaliações anteriores do mesmo nadador, monitorizando a respetiva evolução ou involução (Figura 6).

Estas variáveis são complementadas por **informações biomecânicas**, nomeadamente a avaliação da técnica de partida em bloco instrumentado com sete plataformas de força, permitindo determinar, por exemplo, os tempos de reação, o tempo total de impulsão e o tempo aos 15 m, a força e o impulso 3D de cada uma das mãos e de cada um dos pés (isoladamente), quer para partidas ventrais (VANTORRE et al., 2010), quer para dorsais (DE JESUS et al., 2016). De salientar também a avaliação da técnica de viragem (ventral ou dorsal) em parede instrumentada, mensurando-se o tempo de aproximação (5 m "in"), de contacto, de saída (10 m "out") e aos 15 m, assim como a força e impulso durante o contacto com a parede (PEREIRA et al., 2015). Este dispositivo dinamométrico, desenvolvido no LABIOMEUP-UP, permite avaliar tempos, forças, impulsos e momentos de força produzidos em 3D pela ação de cada membro inferior e de cada membro superior durante as partidas e viragens de todas as técnicas descritas de partida e viragem em Natação Pura Desportiva (VILAS-BOAS et al., 2014; Figura 7).



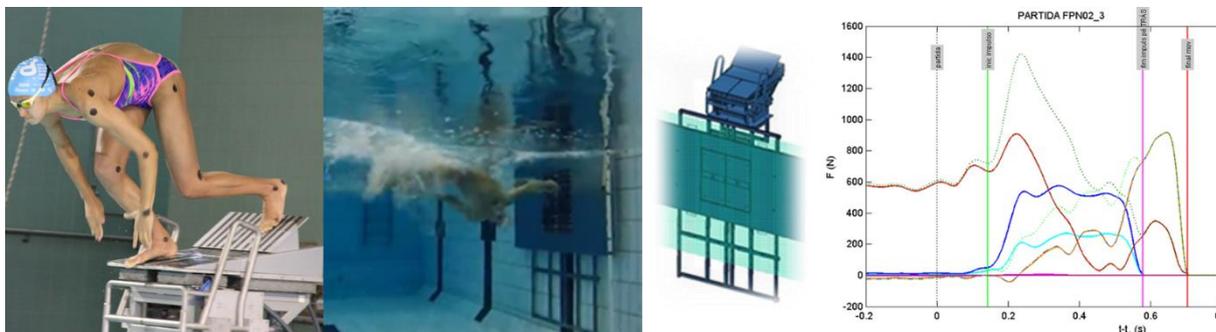
Figura 6 – Curva da concentração de lactato/velocidade de nado para determinação do limiar anaeróbio (LAN, à esquerda) e cinética do consumo de oxigénio durante teste incremental para determinação do consumo máximo de oxigénio e posterior definição das zonas de treino (direita)



Fonte: construção dos autores.

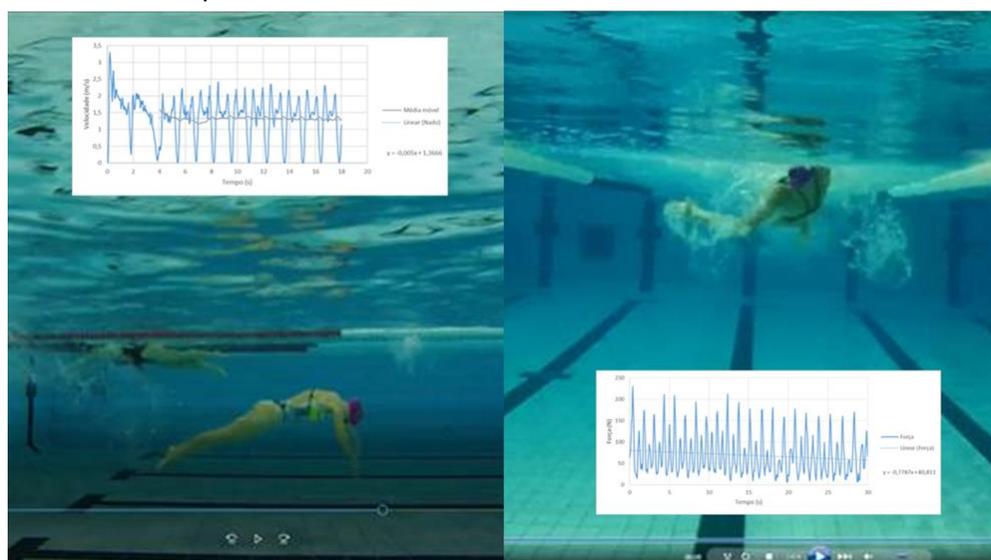
A **avaliação biomecânica** acima descrita reporta-se a variáveis quantitativas, enquanto a avaliação global da técnica é também avaliada de forma qualitativa, o que veio a constituir-se como uma das áreas de avaliação mais apreciadas por treinadores e nadadores (provavelmente devido ao clima de abertura e de debate que se estabelece entre os participantes). Para a sua realização são recolhidas imagens vídeo (subaquáticas e de superfície) nos planos sagital e transversal do sujeito, da(s) técnica(s) de nado, de viragem e de partida. Depois, projetam-se estas imagens e é debatida a execução da impulsão na parede, do percurso subaquático, do início do nado, de cada fase do nado, da viragem e da partida, recorrendo-se ao "*super slow motion*", às imagens paradas e a ferramentas de análise de vídeo para se proceder à identificação de erros técnicos, muitas vezes impercetíveis ao treinador. Coadjuvando estas avaliações são ainda disponibilizados vídeos no plano sagital sincronizados com o registo de variáveis relevantes, como por exemplo a produção de força propulsiva, ou a velocidade instantânea do nadador (Figura 8).

Figura 7 – STARTMETER FADEUP/LABIOMEUP para a avaliação 3D de forças e momentos de força dos membros superiores e inferiores direitos e esquerdos durante partidas e viragens em natação (exemplo de registo de forças 3D durante uma "kick start").



Fonte: construção dos autores.

Figura 8 – Apresentação do vídeo sincronizado com as curva velocidade/tempo e força/tempo (esquerda e direita, respetivamente)



Fonte: construção dos autores.

Nos diferentes domínios de avaliação, cada participante recebe um relatório detalhado de cada área, sendo cada registo contrastado com os anteriores do mesmo sujeito e com a amostra de referência do mesmo nível desportivo ou de referência internacional. O treinador (e o participante) poderá assim verificar como os dados vão evoluindo no tempo e em que medida essa evolução se encontra na direção pretendida.

Apesar do elevado envolvimento tecnológico no âmbito desta atividade do LABIOMEUP o papel que vimos desempenhando na biomecânica da natação e dos



desportos aquáticos à escala global, justificou novos desenvolvimentos. É com uma breve referência aos mesmos que encerraremos este mapeamento de atividades do laboratório, sobretudo por abrirem excelentes perspectivas de otimização dos procedimentos de avaliação e aconselhamento de desportistas.

INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DE DESPORTOS AQUÁTICOS

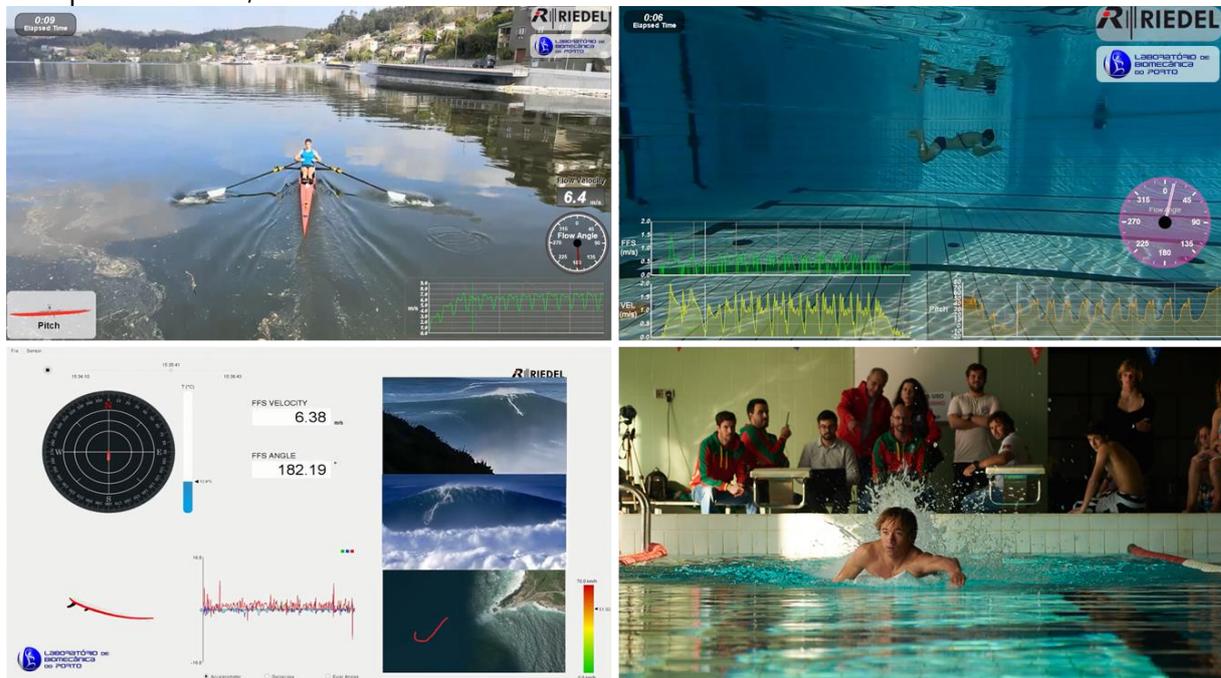
Na esteira de uma das teses de doutoramento desenvolvidas no LABIOMEUP, sobre biomecânica e bioenergética do surf (BORGONOVO-SANTOS, 2018), a Televisão Alemã ZDF - programa Terra X (2015) -, desafiou-nos a avaliar um surfista campeão de ondas gigantes, diretamente nas condições oceânicas mais adversas possíveis.

Esse evento desencadeou o desenvolvimento de uma solução inexistente no mercado, um sensor de fluxo de água bidimensional, com informação inercial e de posicionamento global integrada. Essa solução passou por todos os processos de validação de mercado, culminando num processo de aquisição tecnológica e criação de um *Hub* de pesquisa e desenvolvimento, pela *Riedel Communications GmbH & Co. KG* (Alemanha). Toda essa infraestrutura de desenvolvimento continuou associada ao LABIOMEUP, permitindo desenvolver uma série de estudos de caso para o uso da tecnologia desenvolvida em desportos aquáticos (surf, natação, remo, canoagem, etc.).

A tecnologia avalia o fluxo de água sobre o objeto que se desloca na água e combina, em tempo real, essas medições com a movimentação espacial tridimensional obtida por central inercial e, quando possível, por GPS. Essas informações depois de tratadas, permitem identificar parâmetros de desempenho específicos de cada modalidade (Figura 9), muito em especial a variação da velocidade no tempo e variáveis associadas, como a aceleração e a força aplicada para a induzir.



Figura 9 – Aplicações da tecnologia de medição de fluxo e cinemetria inercial ao Remo, Natação, Surf de ondas gigantes e esperanças olímpicas de Portugal, em Surf, para as os Jogos Olímpicos de Paris, 2024.



Fonte: construções dos autores.

CONCLUSÕES

Neste artigo procuramos dar conta do tipo e diversidade do trabalho realizado num laboratório de biomecânica, ilustrando a diversidade de aplicações e serviços possíveis. Naturalmente não nos foi possível sermos exaustivos, sobretudo por constrangimentos de espaço. As prestações de serviço e parcerias mais específicas não puderam ser aqui exploradas, como na área das artes, especialmente da análise da técnica instrumental em música, ou da técnica de movimentos na dança, da biomecânica forense (na definição de incapacidade física ou motora ou na identificação de causas de lesão), do exercício terapêutico em fisioterapia e das posições e movimentos realizados em ambiente laboral (ergonomia).

Também o desenvolvimento de instrumentos de avaliação e análise do movimento, ou de meios coadjuvantes do mesmo, nomeadamente em ambiente de apoio ao idoso e particularmente no domínio da prevenção de quedas, não foram explorados. Da mesma forma, os desenvolvimentos numéricos (modelos computacionais) e a caracterização de materiais e tecidos não foram áreas desenvolvidas neste artigo, mas não deixam de ser preocupações do LABIOMEUP e áreas de intervenção bem-sucedidas e com elevado potencial de desenvolvimento.



As colaborações do LABIOMEPEP-UP com as unidades de investigação com sede na Faculdade de Desporto da Universidade do Porto (Centro de Investigação, Formação, Inovação e Intervenção em Desporto - CIFI₂D – e Centro de Investigação em Atividade Física, Saúde e Lazer - CIAFEL) a exemplo de outras da Universidade do Porto e de outras instituições de ensino superior tem sido também uma peça central neste contexto, pois procuram promover a investigação e a formação de investigadores de elevado nível nos domínios do desporto, do exercício vocacionado para a promoção da saúde e do exercício terapêutico, bem como a transferência e aplicação dos conhecimentos e saberes existentes para os diferentes contextos e ofícios da saúde, da atividade física e do desporto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAGAARD, Per e colaboradores. Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained elderly. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 11, p. 1989-1996, 2007.

BORGONOVO-SANTOS, Márcio. **Surf biomechanics and bioenergetics**. 2018. 220f. Thesis (Doctoral degree in sports sciences). Faculty of Sports, University of Porto, Porto, Portugal, 2018.

CARVALHO, Diogo Duarte e colaboradores. Anaerobic threshold biophysical characterisation of the four swimming techniques. **International journal of sports medicine**, v. 41, n. 5, p. 318-327, 2020.

CASTRO, Marcelo e colaboradores. Ground reaction forces and plantar pressure distribution during occasional loaded gait. **Applied ergonomics**, v. 44, n. 3, p. 503-509, 2013.

CASTRO, Marcelo e colaboradores. In-shoe plantar pressures and ground reaction forces during overweight adults' overground walking. **Research quarterly for exercise and sport**, 85, n. 2, p. 188-197, 2014a.

CASTRO, Marcelo e colaboradores. Influence of pressure-relief insoles developed for loaded gait (backpackers and obese people) on plantar pressure distribution and ground reaction forces. **Applied ergonomics**, v. 45, n. 4, p. 1028-1034, 2014b.

CASTRO, Marcelo e colaboradores. The influence of gait cadence on the ground reaction forces and plantar pressures during load carriage of young adults. **Applied ergonomics**, v. 49, p. 41-46, 2015.

DE JESUS, Karla e colaboradores. The effect of different foot and hand set-up positions on backstroke start performance. **Sports biomechanics**, v. 15, n. 4, p. 481-496, 2016.



DELP, Scott L. e colaboradores. OpenSim: open-source software to create and analyze dynamic simulations of movement. **IEEE Transactions on biomedical engineering**, v. 54, n. 11, p. 1940-1950, 2007.

DUARTE, João Pedro e colaboradores. Otimização do processo de recuperação após a prática desportiva: hábitos e tipos de vestuário durante a prática. **Portuguese journal of sport sciences**, n. 3, 2019.

ERVILHA, Ulysses Fernandes e colaboradores. Effect of load level and muscle pain intensity on the motor control of elbow-flexion movements. **European journal of applied physiology**, 92, n. 1-2, p. 168-175, 2004.

FERNANDES, Ricardo J. e colaboradores. Step length and individual anaerobic threshold assessment in swimming. **International journal of sports medicine**, v. 32, n. 12, p. 940-946, 2011.

FERNANDES, Ricardo J.; BARBOSA, Tiago M.; VILAS-BOAS, João Paulo. Fatores cineantropométricos determinantes em natação pura desportiva. **Revista brasileira de cineantropometria e desempenho**, v. 4, n. 1, p. 67-89, 2002.

FONSECA, Pedro e colaboradores. Postural control in military personnel: effect of load and footwear. In: CONGRESS OF THE PORTUGUESE SOCIETY OF BIOMECHANICS, 9th, 2021. **Conference Proceedings....** Porto, Portugal: INEGI, 2021, p. 16-17.

GRAVEN-NIELSEN, Thomas e colaboradores. Inhibition of maximal voluntary contraction force by experimental muscle pain: a centrally mediated mechanism. **Muscle nerve**, v. 26, n. 5, p. 708-712, 2002.

HODGES, Paul W.; TUCKER, Kylie. Moving differently in pain: a new theory to explain the adaptation to pain. **Pain**, v. 152, n. 3, Suppl., p. 90-98, 2011.

MACHADO, Leandro e colaboradores. The effect of depth on the drag force during underwater gliding: a CFD approach. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF BIOMECHANICS IN SPORTS, 28th, 2010. **Conference Proceedings....** Marquette, USA: Northern Michigan University, 2010, p. 747-748.

MONTEIRO, Ana Sofia e colaboradores. Post-swim oxygen consumption: assessment methodologies and kinetics analysis. **Physiological measurement**, v. 41, n. 10, p. e105005, 2020.

PEREIRA, Marcos; GONÇALVES, Mauro. Effects of fatigue induced by prolonged gait when walking on the elderly. **Human movement**, v. 12, n. 3, p. 242-247, 2011.

PEREIRA, Suzana Matheus e colaboradores. Kinematic, kinetic and EMG analysis of four front crawl flip turn techniques. **Journal of sports science**, v. 33, n. 19, p. 2006-2015, 2015.



RAJA, Srinivasa N. e colaboradores. The revised international association for the study of pain definition of pain: concepts, challenges, and compromises. **Pain**, v. 161, n. 9, p. 1976-1982, 2020.

SALOMONI, Sauro e colaboradores. Reduced maximal force during acute anterior knee pain is associated with deficits in voluntary muscle activation. **Plos one**, v. 11, n. 8, p. e0161487, 2016.

SEALS, Douglas R. The academic biomedical research laboratory as a "small business". **Journal of applied physiology (1985)**, 2021.

SEBASTIÃO, Ricardo e colaboradores. Military overloaded gait: considerations for developing specific footwear. In: In: CONGRESS OF THE PORTUGUESE SOCIETY OF BIOMECHANICS, 9th, 2021. **Conference Proceedings....** Porto, Portugal: INEGI, 2021, p. e18049.

SOUSA, Manoela e colaboradores. Military overloaded gait: considerations for developing specific footwear. In: In: CONGRESS OF THE PORTUGUESE SOCIETY OF BIOMECHANICS, 9th, 2021. **Conference Proceedings....** Porto, Portugal: INEGI, 2021, p. e18050.

VANTORRE, Julien e colaboradores. Comparison of grab start between elite and trained swimmers. **International journal of sports medicine**, v. 31, n. 12, p. 887-893, 2010.

VILAS-BOAS, João Paulo e colaboradores. A novel dynamometric central for 3D forces and moments assessment in swimming starting. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOMECHANICS AND MEDICINE IN SWIMMING, XIIth, 2014. **BMS2014 abstracts handbook**. Canberra, Australia: Australian Institute of Sport, 2014.

VON KORFF, Michael; DUNN, Kate M. Chronic pain reconsidered. **Pain**, v. 138, n. 2, p. 267-276, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **World Health Statistics 2017**: monitoring health for the SDGs. [s.l: s.n.].

Dados do primeiro autor:

Email: jpvb@fade.up.pt

Rua: Doutor Plácido Costa, 91, 4200-450, Porto, Portugal

Recebido em: 12/07/2021

Aprovado em: 27/07/2021

Como citar este artigo:

VILAS-BOAS, João Paulo e colaboradores. Laboratório de biomecânica do Porto: ensino, investigação e serviços à comunidade. **Corpoconsciência**, v. 25, n. 2, p. 196-220, mai./ ago., 2021.