

O impacto de tecnologias emergentes na indústria de entretenimento do esporte

Michael Menezes de Magalhães

michaellmmglhs@gmail.com

Thiago Gomes de Freitas Almeida

thiago.gomes.f.a.profissional@gmail.com

Camila Braga Soares Pinto

camila.braga@ufjf.br

João Paulo Nascimento da Silva

jpnsilvas@gmail.com

Resumo: A aposentadoria dos atletas de elite, independentemente do esporte, representa uma perda substancial de conhecimento tácito, capital cognitivo e emocional. Este artigo tecnológico analisa o potencial disruptivo da convergência entre interfaces cérebro-computador, robótica biomimética, inteligência artificial e tecnologias imersivas para explorar a criação de uma nova categoria de entretenimento no esporte. A proposta central baseia-se na captura e decodificação de padrões neurais dos atletas, traduzidos em avatares virtuais capazes de replicar seus estilos e estratégias em ambientes imersivos, prolongando assim suas participações no esporte. A integração dessas tecnologias preserva e amplifica o legado competitivo dos atletas, transcendendo suas limitações físicas e oferecendo aos consumidores de esportes e e-sports uma modalidade inovadora de entretenimento. Além disso, a proposta contempla inclusão social de pessoas com limitações físicas. Entende-se que essa convergência tecnológica tem potencial para provocar transformação disruptiva nos mercados esportivo e de entretenimento, inaugurando uma economia baseada na perpetuidade do talento, com potencial de gerar novos mercados multissetoriais e de estabelecer um novo marco no consumo esportivo.

Palavras-Chave: Inovação disruptiva; Robótica biomimética; Neurociência aplicada; Realidade virtual.

1. Introdução

A indústria esportiva passa por transformação acelerada com a digitalização e o avanço de tecnologias disruptivas, enquanto a carreira de atletas de elite, por sua natureza limitada, resulta na perda de décadas de conhecimento tático e inteligência motora. A neurociência esportiva mostra que esses atletas desenvolvem padrões cerebrais otimizados, com maior eficiência neural em tarefas cognitivas e motoras. Li e Smith (2021) identificam padrões únicos de atividade cerebral, com menor ativação cortical em ações de alto nível, revelando processamento mais eficiente. A perda desse capital intelectual, até então irreversível, constitui uma lacuna no aproveitamento do potencial humano para o entretenimento.

Como apresenta Giorgio et al. (2025) o mercado esportivo global, impulsionado por investimentos em digitalização e na experiência do fã, vive uma abertura para inovações que rompem com os modelos tradicionais. Conforme a Fortune Business Insights (2025) setor de tecnologia esportiva projeta um crescimento robusto, com expansão anual de 23,1% até 2032, sinalizando claro apetite por soluções tecnológicas. E paralelamente, segundo a Precedence Research (2025), o mercado de entretenimento esportivo imersivo experimenta crescimento exponencial, com o setor de esportes virtuais projetando expansão de US\$ 16,38 bilhões em 2023 para US\$ 92,12 bilhões até 2034, representando taxa de crescimento anual de 17%.

Considerando King & Baatartogtokh (2015) este cenário se torna um terreno fértil para a aplicação do conceito de inovação disruptiva, que reforça como novas tecnologias podem redefinir mercados estabelecidos. A disrupção em curso pode ser acelerada pela convergência de domínios como Inteligência Artificial e Realidade Aumentada e Estendida identificadas como forças transformadoras para a próxima década por Chui; Roberts; Yee; (2025).

Conforme ilustra Nijholt et al. (2022) a aplicação de interfaces cérebro-computador em contextos não clínicos, incluindo esporte, arte e entretenimento, tem demonstrado potencial transformador. Isso somado a tecnologias como a robótica biomimética, inteligência artificial e realidade virtual/aumentada permitem a criação de novas modalidades de interação que extrapolam as limitações do esporte tradicional, abrindo possibilidades alternativas para a participação no esporte. Neste contexto de convergência tecnológica e demanda de mercado, surge a possibilidade de criação de formas de entretenimento que busquem trazer a continuidade do trabalho de atletas já aposentados preservando e amplificando seu legado competitivo, através de sistemas integrados de captura neural, inteligência artificial e ambientes imersivos.

O objetivo deste artigo tecnológico é analisar o potencial disruptivo dessa convergência, demonstrando, a partir de dados de mercado, evidências científicas e tendências, como ela pode redefinir paradigmas e criar novos mercados. O estudo contribui ao ampliar o conhecimento sobre a interseção entre esporte e tecnologia, oferecendo perspectivas para gestores, desenvolvedores e atletas, além de benefícios potenciais em áreas correlatas.

2. Contexto da oportunidade

A análise das condições que sustentam a oportunidade revela uma convergência de fatores que possibilitam inovação disruptiva no entretenimento esportivo. Quatro dimensões estruturam esse cenário, permitindo repensar como o talento atlético pode ser preservado, amplificado e monetizado.

2.1 Aposentadoria Precoce e Inevitável dos Atletas

A carreira de atletas de alto rendimento é intrinsecamente limitada por fatores fisiológicos que impõem aposentadoria precoce, independentemente da expertise cognitiva e do carisma preservados. Derivado de Li e Smith (2021), a neurociência esportiva evidencia que atletas de elite desenvolvem padrões cerebrais otimizados, caracterizados pela maior eficiência neural durante tarefas cognitivas e motoras, com menor ativação cortical ao realizar ações de alto nível. Esta expertise neural, desenvolvida ao longo de décadas, permanece intacta mesmo quando limitações físicas forçam o encerramento da carreira competitiva.

O declínio da capacidade física manifesta-se através de redução da velocidade, força, flexibilidade e tempo de reação, fatores que comprometem a performance competitiva independentemente da preservação das capacidades cognitivas, táticas e do apelo emocional que estes atletas exercem sobre os fãs. A próxima Copa do Mundo FIFA pode representar a "última dança" de ícones como Messi, Cristiano Ronaldo e Neymar, simbolizando a perda iminente de gerações de talento que definiram o entretenimento esportivo global.

A aposentadoria de atletas de elite implica perda irreparável de técnicas refinadas, padrões de movimento otimizados e práticas táticas desenvolvidas através de décadas de treinamento especializado. O conhecimento tácito incorporado - incluindo leitura de jogo, antecipação de movimentos adversários, tomada de decisão sob pressão e execução de técnicas complexas - representa patrimônio intelectual de valor inestimável que se perde com o encerramento da carreira.

De acordo com Raab e Araújo (2019), pesquisas sobre cognição incorporada no esporte demonstram que a expertise atlética reside não apenas na execução física, mas na integração sensório-motora que permite processamento cognitivo especializado. Além disso, como apresenta Calmels (2020) estudos neurocientíficos revelam que padrões distintos de atividade neural caracterizam a expertise motora, com treinamento extensivo moldando áreas cerebrais relacionadas ao controle motor de forma específica.

2.2 Limitações na Transmissão de Conhecimento e Maturação Tecnológica de Interfaces Cérebro-Computador

Os mecanismos tradicionais de transferência de conhecimento - coaching, comentários, análises técnicas e registros audiovisuais - capturam apenas fração superficial da expertise tática e da inteligência motora desenvolvidas por atletas de elite. Com base em Zhang et al. (2023), estudos sobre gestão do conhecimento em eventos esportivos revelam que a transferência de conhecimento enfrenta barreiras relacionadas à linguagem, tecnologia e metodologias inadequadas para preservar conhecimento tácito.

A lacuna entre o potencial cognitivo preservado e os mecanismos disponíveis para sua transmissão representa limitação fundamental dos modelos atuais, que falham em capturar e reproduzir os padrões neurais subjacentes à expertise atlética de elite. E aliada a isso, a convergência de tecnologias emergentes - interfaces cérebro-computador, robótica biomimética, inteligência artificial e ambientes imersivos - alcançou maturação suficiente para aplicações comerciais de entretenimento.

A Neuralink (2025) demonstrou viabilidade prática através de três pacientes que utilizam implantes neurais para controlar dispositivos digitais, acumulando mais de 4.900 horas de uso da tecnologia "Telepathy", incluindo jogos e atividades de entretenimento. A partir de Luu et al. (2017) pesquisas acadêmicas confirmam a eficácia de interfaces cérebro-computador para controle de avatares virtuais em tempo real, aqui chamados de personificações, demonstrando que usuários podem controlar movimentos complexos através de sinais neurais com precisão suficiente para aplicações de entretenimento.

2.3 Oportunidade de Aplicação de Tecnologias Disruptivas

A convergência de tecnologias emergentes - interfaces cérebro-computador, robótica biomimética, inteligência artificial e realidade virtual/aumentada - cria oportunidade inédita para prolongar a presença competitiva de atletas através de mediação tecnológica. Segundo Nijholt et al. (2022) a aplicação de interfaces cérebro-computador em contextos não clínicos, incluindo esporte e entretenimento, tem demonstrado potencial transformador para criação de novas modalidades de participação. Heidari et al. (2025) destacam que estudos sobre transferência de conhecimento em dados de vídeo esportivo evidenciam que tecnologias de aprendizado profundo podem capturar e reproduzir padrões complexos de performance atlética.

O mercado de tecnologia esportiva, de acordo com a Fortune Business Insights (2025), projeta crescimento de 23,1% ao ano até 2032, refletindo demanda por inovações que transcendam paradigmas tradicionais.

Tomando por referência Qin, Rocha, Morrow (2022), pesquisas sobre gestão do conhecimento em mega-eventos esportivos confirmam que a integração de tecnologias avançadas facilita a preservação e transferência de expertise atlética de forma mais eficiente. Esta convergência de

maturação tecnológica e receptividade de mercado estabelece contexto favorável para soluções que integrem expertise humana com execução tecnológica, criando nova categoria de participação esportiva que preserve e amplifique o legado competitivo de atletas lendários.

2.4 Limitações dos Modelos Atuais de Entretenimento Esportivo

Os mecanismos tradicionais de preservação do legado atlético - documentários, comentários, análises técnicas, registros audiovisuais e inclusive videogames/jogos virtuais, capturam apenas fração superficial da genialidade tática e da presença carismática que caracterizam atletas de elite. Considerando Qin, Rocha, Morrow (2022) estudos sobre gestão do conhecimento em eventos esportivos revelam que métodos convencionais enfrentam barreiras relacionadas à linguagem, tecnologia e metodologias inadequadas para preservar conhecimento tácito e experiência emocional.

A lacuna entre o potencial de entretenimento preservado e os mecanismos disponíveis para sua transmissão representa limitação fundamental dos modelos atuais, que falham em capturar e reproduzir os padrões neurais subjacentes à expertise atlética e ao carisma que define ídolos esportivos. Apoiado em Giorgio et al. (2025) a profissionalização acelerada da indústria esportiva, evidenciada por investimentos crescentes em tecnologia e experiências inovadoras, demonstra a receptividade do mercado para soluções que agreguem valor através de diferenciação tecnológica.

3. Diagnóstico da oportunidade

A identificação das condições que sustentam a oportunidade tecnológica exige análise das causas que convergem para criar uma janela única de inovação disruptiva no esporte. O diagnóstico revela três dimensões fundamentais que estruturam a transformação na preservação, amplificação e monetização do talento atlético, incluindo também desafios regulatórios e éticos.

3.1 Causas Tecnológicas: Lacunas na Captura e Reprodução de Movimentos Complexos

A ausência de sistemas capazes de capturar e reproduzir com fidelidade os movimentos de atletas constitui barreira central. Soluções que integrem biomecânica, IA e robótica aplicada ao esporte ainda são incipientes. Li et al. (2025) mostram que, embora a realidade virtual supere métodos tradicionais em algumas modalidades, persiste a limitação em reproduzir nuances biomecânicas da expertise de elite. A inexistência de frameworks que combinem captura neural, análise biomecânica e reprodução de movimentos caracteriza lacuna crítica, sustentando a causa tecnológica para desenvolvimento de soluções avançadas.

3.2 Causas Contextuais: Demanda Crescente por Experiências Imersivas e Inovadoras

A demanda crescente por experiências digitais personalizadas impulsiona a transformação do entretenimento esportivo. Giorgio et al. (2023) identificam o início da “era esportiva imersiva”, enquanto a Grand View Research (2025) projeta crescimento do mercado de esportes virtuais de US\$ 13,52 bilhões em 2022 para US\$ 47,07 bilhões até 2030 (CAGR >15%). A Fortune Business Insights (2025) prevê que o mercado de realidade virtual aplicada ao esporte crescerá de US\$ 16,32 bilhões em 2024 para US\$ 123,06 bilhões em 2032. Chen e Zhang (2024) confirmam o interesse dos consumidores em experiências baseadas em metaverso, validando a causa contextual e reforçando a receptividade de mercado para soluções que preservem legado atlético em ambientes imersivos.

3.3 Causas Regulatórias: Ausência de Frameworks Normativos para Neurotecnologia e IA

A falta de regulamentação sobre neurotecnologia, IA e dados biométricos cria tanto oportunidades quanto riscos. O IEEE Brain (2025) destaca dilemas éticos, sociais e culturais ainda não regulados. Kim et al. (2025) apontam preocupações sobre equidade, transparência e privacidade de dados. Foley & Lardner (2025) evidenciam riscos legais com a coleta de dados sensíveis em esportes profissionais, enquanto Zhao e Guo (2024) afirmam que abordagens tradicionais de proteção da privacidade se tornaram insuficientes. Essa lacuna regulatória fundamenta a necessidade de novos frameworks que contemplem direitos de imagem, privacidade neural e reprodução da identidade de atletas.

4. Proposta do aproveitamento da oportunidade

A convergência tecnológica proposta vai além de uma inovação isolada: simboliza a criação de uma economia baseada na perpetuidade do talento humano e na superação de limitações físicas. A integração de neurotecnologia, IA e ambientes imersivos poderia não apenas mitigar os efeitos da aposentadoria precoce de atletas, mas também redefinir o mercado esportivo e inaugurar novos ecossistemas econômicos. A solução consiste em uma plataforma integrada, estruturada em pilares tecnológicos complementares.

4.1 Sistema de Captura Neural Não Invasiva

Este pilar tecnológico é responsável pela função de traduzir a expertise subjetiva de um atleta em um fluxo de dados objetivo e computacionalmente legível. Sua operação se daria por meio de sensores não invasivos que capturam os complexos sinais elétricos e hemodinâmicos do

cérebro, decodificando-os para forjar uma "assinatura neural" que representa a intenção motora e tática do indivíduo.

Sensores como EEG e fNIRS captariam sinais neurais, decodificando intenções motoras, decisões táticas e estados emocionais. Qiu et al. (2022) demonstram que sistemas híbridos alcançam precisão superior a 96% em tarefas de imaginação motora.

O sistema poderia ser projetado para decodificar padrões neurais específicos que caracterizam a expertise de atletas de elite, incluindo antecipação, timing e coordenação motora. A captura neural focaria em três categorias de sinais: (1) intenções motoras básicas (movimento, direção, intensidade); (2) decisões táticas de alto nível (estratégia, posicionamento, timing); e (3) estados emocionais e de concentração que influenciam a performance. E com isso, considerando Edelman et al (2025), algoritmos de aprendizado de máquina seriam treinados com dados específicos de cada atleta para criar "assinaturas neurais" personalizadas que capturariam sua expertise única, aproveitando avanços recentes em decodificação de sinais neurais.

4.2 personificação do atleta digital em Ambientes Imersivos

Neste pilar, a personificação de um atleta digital cumpre a função essencial de materializar a "assinatura neural" do esportista, convertendo os dados decodificados em ação física e visível. Sua operação se basearia em modelos computacionais biomiméticos, que não apenas executam um comando, mas o interpretam para replicar a biomecânica e o estilo de movimento únicos de cada indivíduo, garantindo autenticidade.

Com base em Trivedi et al (2023), a pesquisa biomimética visa desenvolver sistemas robotizados e plataformas de software capazes de replicar movimentos humanos em ambiente centrado no humano, com simulação envolvendo criação de modelos computacionais que imitam comportamentos biológicos. As personificações seriam projetadas para replicar não apenas a biomecânica, mas também o estilo característico de cada atleta, utilizando técnicas avançadas de motion capture e análise biomecânica.

Cada personificação de um atleta seria calibrado para que sua execução de movimentos seja realista e consistente com o estilo do atleta original. Considerando Maduwantha et al. (2024) tecnologias de motion capture têm se mostrado valiosas para cientistas esportivos, permitindo registrar movimento humano e traduzi-lo para modelo 3D em tempo real, com aplicações que se estendem desde análise biomecânica até criação de experiências imersivas. As competições poderiam ocorrer em arenas virtuais fotorrealistas ou em ambientes de realidade mista, onde personificações interagem com espaço físico. Esta abordagem tem o potencial de permitir experiência de visualização altamente imersiva para o público, que poderia assistir à partida de qualquer ângulo, inclusive da perspectiva em primeira pessoa da personificação, criando produto de entretenimento visualmente espetacular.

4.3 Inteligência Artificial como Otimizador e Adversário

A inteligência artificial desempenharia duas funções cruciais no sistema proposto. Primeiramente, atuaria como camada de otimização em tempo real, refinando os comandos brutos da interface cérebro-computador para garantir que os movimentos das personificações dos atletas sejam fluidos e naturais. A IA funciona como "cerebelo digital", automatizando o controle motor fino para que o usuário possa focar na estratégia.

À luz de Mateus et al. (2024), pesquisas recentes demonstram que a IA está transformando o campo da ciência esportiva ao fornecer insights e ferramentas sem precedentes que aprimoram treinamento, performance e gestão de saúde, com aplicações que incluem otimização de carga, prevenção de lesões e otimização de performance através de modelagem preditiva e análises em tempo real.

Em segundo lugar, a IA seria utilizada para criar adversários e companheiros de equipe controlados pelo computador, com níveis de habilidade ajustáveis. Isso permitiria que um único usuário possa participar de partida de equipe completa e que o sistema pudesse ser usado para treinamento e entretenimento solo. A IA aprenderia continuamente com os jogos, adaptando-se ao estilo do usuário e garantindo desafio constante.

Sob a perspectiva de Wang e Tsai (2022), algoritmos de aprendizado de máquina têm demonstrado eficácia em otimização de métodos combinados com sistemas de reabilitação de interface cérebro-computador, evidenciando potencial para aplicações de entretenimento que requerem adaptação contínua e personalização.

4.4 Convergência Tecnológica e Validação da Proposta

A convergência sinérgica dos pilares tecnológicos fundamentais - sistema de captura neural não invasiva, personificação digital em ambientes imersivos e inteligência artificial como otimizador - representaria a materialização de um ecossistema neurotecnológico sem precedentes na história do entretenimento esportivo. A integração dessas tecnologias funcionaria através de um fluxo de dados contínuo e bidirecional, onde as interfaces cérebro-computador capturariam as "assinaturas neurais" dos atletas transmitindo essas informações para algoritmos de IA especializados que processam e refinam os comandos neurais em tempo real. Simultaneamente, os sistemas de personificação biomimética traduziriam esses dados processados em movimentos autênticos e fluidos dos avatares digitais, criando uma cadeia de processamento neural-digital-virtual que preserva a essência da expertise atlética original. Esta convergência tecnológica validaria a proposta central do artigo ao demonstrar que a perpetuidade do talento humano através da mediação tecnológica

não apenas é cientificamente viável, mas também comercialmente escalável para transformar fundamentalmente o mercado de entretenimento esportivo.

A viabilidade da proposta emergiria da capacidade demonstrada de cada tecnologia complementar às limitações das demais, criando sistema robusto e resiliente que superaria as barreiras individuais de cada componente isolado. Enquanto as interfaces cérebro-computador fornecem a base neural autêntica necessária para capturar a expertise cognitiva dos atletas, os sistemas de IA atuam como "cerebelo digital" que compensa as limitações inerentes da decodificação neural, refinando comandos brutos e garantindo fluidez dos movimentos através de algoritmos de aprendizado de máquina adaptativos. Os ambientes imersivos de realidade virtual/aumentada, por sua vez, materializam essa convergência em experiências visuais espetaculares que transcendem as limitações físicas tradicionais, permitindo que o público experimente competições de ângulos impossíveis no mundo real, incluindo perspectivas em primeira pessoa dos próprios atletas. A integração multimodal dessas tecnologias pode criar redundância operacional que garante robustez do sistema, onde falhas ou limitações de um componente podem ser compensadas pelos demais, validando a viabilidade técnica da proposta para aplicações comerciais de larga escala.

4.5 Transformação Além do Esporte

O impacto transformador da convergência tecnológica proposta estende-se muito além do setor esportivo, criando ondas de disrupção que podem remodelar indústrias inteiras e gerar novos mercados multi bilionários nas próximas décadas.

A aplicação da mesma arquitetura tecnológica na área da saúde poderia transformar fundamentalmente os paradigmas de reabilitação e tratamento neurológico. A capacidade de traduzir intenções neurais em movimentos robóticos precisos abre possibilidades para que pacientes com lesões medulares, Acidente Vascular Cerebral (AVC) ou doenças neurodegenerativas não apenas recuperem funcionalidades perdidas, mas potencialmente as superem através de interfaces homem-máquina. A revisão sistemática de Banyai e Brişan (2024) sobre robótica na reabilitação física confirma a trajetória ascendente dessas tecnologias.

A democratização do acesso à expertise através de interfaces neurais poderia revolucionar completamente os modelos educacionais tradicionais. A pesquisa de Yau e Hsiao (2022) sobre aceitação de tecnologia para desenvolvimento físico indica receptividade crescente para soluções que aprimoram o capital humano. No horizonte de 20-30 anos, isso pode levar ao surgimento de "universidades neurais" onde o aprendizado acontece através de transferência direta de experiência, criando uma nova economia do conhecimento baseada em experiência sintética.

A convergência de neurotecnologia com entretenimento poderia criar possibilidades para formas completamente novas de mídia e experiência. Imagine filmes onde o espectador poderia literalmente "sentir" as emoções e sensações do protagonista, ou jogos onde a experiência é indistinguível da realidade porque utiliza os mesmos padrões neurais de especialistas reais. A demanda por experiências imersivas, identificada pela Giorgio et al. (2023) como definidora da "era esportiva imersiva", representa apenas o início de uma transformação muito maior.

4.6 Transformações Socioeconômicas: Redefinindo Trabalho, Valor e Sociedade

As implicações de longo prazo da convergência tecnológica proposta transcendem mudanças setoriais específicas, potencialmente remodelando estruturas socioeconômicas fundamentais e criando novas formas de organização social e econômica.

A capacidade de capturar e replicar expertise humana pode fundamentalmente alterar a natureza do trabalho especializado. No longo prazo, isso pode levar ao surgimento de uma economia onde o valor reside não na execução de tarefas, mas na criação e refinamento de "templates cognitivos" que podem ser infinitamente replicados. Profissionais podem se tornar "arquitetos de experiência" cujo trabalho principal é desenvolver e aperfeiçoar padrões neurais que outros podem utilizar.

A separação entre capacidade cognitiva e limitações físicas poderiam criar oportunidades sem precedentes para a inclusão social e econômica. Indivíduos com limitações motoras poderiam não apenas participar, mas potencialmente distinguir-se em atividades que antes lhes eram inacessíveis. A pesquisa de Li et al. (2025) sobre tecnologias adaptativas destaca o potencial transformador dessas abordagens. No horizonte de longo prazo, isso pode levar ao desenvolvimento de uma sociedade onde limitações físicas se tornam irrelevantes para a participação econômica e social, criando novos mercados de trabalho baseados puramente em capacidade cognitiva e criatividade.

O desenvolvimento dessas tecnologias requer colaboração interdisciplinar sem precedentes entre neurociência, engenharia, ciência da computação, design e ética. Esta necessidade de convergência pode catalisar a formação de novos tipos de clusters de inovação que transcendem fronteiras disciplinares tradicionais. A pesquisa de Borton et al. (2020) sobre plataformas colaborativas para neurotecnologia demonstra como esses ecossistemas podem acelerar a inovação. No longo prazo, regiões que conseguirem criar esses ecossistemas convergentes podem se tornar centros globais de uma nova economia baseada na interface homem-máquina, estabelecendo vantagens competitivas duradouras na economia do século XXI.

A capacidade de preservar não apenas registros históricos, mas a própria "essência experiencial" de indivíduos notáveis pode revolucionar como sociedades preservam e

transmitem cultura. O trabalho de Wang e Liu (2022) sobre preservação digital de patrimônio cultural esportivo fornece um vislumbre dessas possibilidades. No futuro, museus podem oferecer experiências onde visitantes podem literalmente "ser" figuras históricas por alguns momentos, criando formas de educação histórica e preservação cultural que são impossíveis com tecnologias atuais.

4.7 Implicações Éticas e Regulatórias: Moldando o Futuro da Governança Tecnológica

Por fim, a implementação dessas tecnologias em escala global levanta questões éticas e regulatórias fundamentais que podem influenciar o desenvolvimento de novos frameworks de governança tecnológica para o século XXI.

A capacidade de capturar e interpretar sinais neurais levanta questões inéditas sobre privacidade mental e autonomia cognitiva. O framework de neuroética do IEEE Brain (2025) para esportes e competições reconhece que essas tecnologias criam desafios éticos sem precedentes. No longo prazo, isso pode levar ao desenvolvimento de novos direitos fundamentais relacionados à privacidade neural e à proteção da identidade cognitiva, influenciando legislações globais e criando novos mercados para tecnologias de proteção neural.

A natureza disruptiva dessas tecnologias pode forçar o desenvolvimento de novos modelos de regulamentação que sejam mais ágeis e adaptativos do que frameworks regulatórios tradicionais. Isso pode incluir sistemas de governança baseados em IA, regulamentação preditiva e modelos de co-regulação entre setor público e privado que podem servir como protótipos para a governança de outras tecnologias emergentes.

Em síntese, a proposta não é apenas solução tecnológica, mas catalisador de transformações socioeconômicas que podem redefinir educação, saúde, trabalho, cultura e entretenimento, gerando ecossistemas inéditos e mercados multibilionários.

5. Plano de ações

A materialização da convergência neurotecnológica requer estratégia faseada que vá além da implementação técnica, posicionando-se como catalisador de transformação sistêmica no entretenimento esportivo. O ponto de partida é a integração dos pilares tecnológicos em um protótipo funcional mínimo, capaz de demonstrar toda a cadeia neural-digital, validando a sincronia entre captura, tradução algorítmica e execução biomimética.

A construção da primeira arena-laboratório possivelmente oferece ambiente controlado e altamente instrumentalizado para validação da sincronia e baixa latência do sistema, requisitos absolutamente críticos para autenticidade da experiência de entretenimento. Considerando Ahn e Jun (2017), a integração multimodal EEG-fNIRS tem demonstrado

capacidade de superar limitações individuais de cada modalidade, com estudos evidenciando que a combinação dessas tecnologias pode alcançar precisão de classificação superior a 90% em tarefas de imaginação motora, superando significativamente o desempenho de sistemas unimodais. A sincronização temporal entre as diferentes modalidades de aquisição neural poderia representar desafio técnico fundamental, considerando que sinais EEG possuem resolução temporal na ordem de milissegundos, enquanto respostas hemodinâmicas do fNIRS apresentam latências inerentes de 2-6 segundos.

O desenvolvimento de protocolos de captura multimodal provavelmente integraria EEG/fNIRS com sensores inerciais e análise de vídeo durante tarefas táticas padronizadas, criando sistema de aquisição de dados sem precedentes na literatura científica. Esta abordagem multimodal poderia permitir capturar não apenas as intenções motoras corticais, mas também os padrões biomecânicos e cinemáticos associados, estabelecendo correlações entre atividade neural e execução motora que poderiam ser posteriormente replicadas pelas personificações. Derivado de Tam et al (2019), a decodificação de intenções motoras em tempo real tem demonstrado viabilidade técnica, com sistemas capazes de processar sinais neurais com latências inferiores a 100 milissegundos, requisito essencial para aplicações interativas.

Seria interessante buscar incorporar atletas veteranos como consultores especializados e sujeitos de teste, aproveitando sua expertise motora refinada para calibração e validação dos sistemas de captura neural. Tomando por referência Li e Smith (2021), a participação de atletas de elite poderia ser fundamental, considerando que estudos neurofisiológicos demonstram que expertise motora está associada a padrões neurais específicos e eficiência neural superior, com atletas apresentando ativação cortical mais focada e menor variabilidade inter-trial em comparação com indivíduos não treinados. O refinamento da usabilidade e precisão do controle neural através de protocolos iterativos de teste possivelmente permitiria a otimização contínua dos algoritmos de decodificação, incorporando aprendizado adaptativo que se ajustaria às características neurais individuais de cada atleta.

O desenvolvimento simultâneo de "bibliotecas de movimento" patenteadas representaria inovação disruptiva no campo da propriedade intelectual neurotecnológica, assegurando direitos exclusivos sobre templates cognitivo-motores derivados de padrões neurais de atletas de elite. Esta abordagem criaria nova classe de ativos digitais fundamentada na evidência científica de que expertise neural constitui recurso tangível e mensurável, passível de quantificação, replicação e monetização. Considerando Ruiz et al. (2024), estudos recentes em decodificação de intenções motoras demonstram que padrões neurais associados a movimentos específicos podem ser extraídos, modelados e posteriormente utilizados para controle de dispositivos externos com alta fidelidade .

Essa etapa estabeleceria as fundações técnicas para escalabilidade futura do sistema, validando não apenas a viabilidade científica, mas também a robustez operacional necessária

para transição de ambiente laboratorial para aplicação comercial. A criação de protocolos padronizados de captura e processamento neural permitiria replicabilidade e expansão do sistema para diferentes modalidades esportivas e perfis de atletas, estabelecendo metodologia científica rigorosa que sustentaria o desenvolvimento subsequente da plataforma de entretenimento.

Outro aspecto que também poderia ser considerado, seria o estabelecimento de frameworks éticos robustos. A criação de Comitê Ético-Técnico multidisciplinar, integrando especialistas em neuroética, privacidade de dados, jurídico e representantes de federações esportivas, poderia estabelecer fundação regulatória proativa que mitiga riscos e define padrões de compliance desde o início, conforme orientações do framework de neuroética do IEEE Brain (2025) para esportes e competições.

Além disso, possivelmente seria ideal desenvolver um consórcio de pesquisa interdisciplinar unindo instituições de neurociência, robótica biomimética e inteligência artificial para validação da arquitetura tecnológica integrada. O foco poderia se concentrar na demonstração da capacidade de capturar e decodificar padrões neurais que caracterizam a expertise motora de atletas de elite, aprofundando evidências de Li e Smith (2021) sobre eficiência neural otimizada. Considera-se isso pois pesquisa de Borton et al. (2020) sobre plataformas colaborativas para neurotecnologia demonstra que ecossistemas convergentes aceleram significativamente a inovação através da eliminação de silos disciplinares.

6. Conclusões e contribuições

Acredita-se que, por meio do que foi apresentado, o artigo foi capaz de cumprir com seu objetivo de analisar o potencial disruptivo da convergência de tecnologias emergentes para criação de uma nova categoria de entretenimento esportivo virtual. Percebeu-se que a utilização de robótica biomimética, inteligência artificial e ambientes imersivos no esporte tem capacidade de mudar as formas que se praticam essas atividades e considerando as tendências atuais do mercado, essas tecnologias ainda têm muito a crescer.

Este trabalho contribui academicamente, pois amplia o conhecimento a respeito da interseção entre tecnologias e esportes, especialmente ao discutir a utilização de interfaces cérebro-computador no entretenimento esportivo. Além disso, oferece uma possível visão de futuro para gestores esportivos, desenvolvedores de tecnologia e atletas, ao apresentar uma proposta que pode ser uma solução para a questão da aposentadoria precoce via implementação de tecnologias inovadoras. Outro aspecto relevante é que o desenvolvimento de eventuais instrumentos no contexto esportivo também aponta para possíveis benefícios em outras áreas como a saúde e a educação, como no caso de AVCs e transferência de conhecimento.

Contudo, tendo em vista que este artigo trata de tecnologias ainda pouco exploradas no escopo necessário e uma proposta ainda pouco palpável, torna-se evidente a necessidade de

pesquisas mais aprofundadas. Nesse sentido, destacam-se algumas oportunidades de pesquisa futuras que podem ser exploradas, tais como: aprofundar-se a respeito dos impactos dessas tecnologias na educação e na saúde, a viabilidade econômica e mercadológica desta proposta e aprofundar-se nas tecnologias necessárias.

Referências

- BANYAI, A.D.; BRIŞAN, C. Robotics in Physical Rehabilitation: Systematic Review. *Healthcare* (Basel). 2024 Aug 29;12(17):1720. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare12171720>. Acesso em: 9 set. 2025.
- BORTON, D.A. et al. Developing Collaborative Platforms to Advance Neurotechnology and Its Translation. *Neuron*. 2020 Oct 28;108(2):286-301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2020.10.001>. Acesso em: 10 set. 2025.
- CALMELS, C. Neural correlates of motor expertise: extensive motor training and cortical changes. *Brain Research Bulletin*, v. 1739, 15 jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2019.146323>. Acesso em: 4 set. 2025.
- CHEN, S. S.; ZHANG, J. J. Market demand for metaverse-based sporting events: a mixed-methods approach. *Sport Management Review*, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/14413523.2024.2401640>. Acesso em: 4 set. 2025.
- CHUI, M.; ROBERTS, R.; YEE, L. **McKinsey technology trends outlook 2025**. McKinsey & Company, 24 ago. 2025. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-top-trends-in-tech>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- EDELMAN, B. J. et al. Non-invasive brain-computer interfaces: state of the art and future prospects. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 18, p. 26-49, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1109/RBME.2024.3449790>. Acesso em: 17 set. 2025.
- FOLEY & LARDNER LLP. Gauging professional sport biometric data privacy concerns. *Foley Insights*, 15 maio 2025. Disponível em: <https://www.foley.com/insights/publications/2025/05/gauging-professional-sport-biometric-data-privacy-concerns/>. Acesso em: 4 set. 2025.
- FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Sports Technology Market Size, Share, Industry Analysis - 2032. *Fortune Business Insights*, 4 jun. 2025. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/sports-technology-market-112896>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Virtual Reality (VR) Market Size, Growth, Share | Report, 2032. *Fortune Business Insights*, 2025. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/virtual-reality-market-101378>. Acesso em: 4 set. 2025.

- GIORGIO, P. et al. 2023 sports fan insights: the beginning of the immersive sports era. Deloitte Insights, 26 jun. 2023. Disponível em: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/sports/immersive-sports-fandom.html>. Acesso em: 4 set. 2025.
- GIORGIO, P. et al. 2025 global sports industry outlook. Deloitte Center for Technology, Media & Telecommunications, 13 fev. 2025. Disponível em: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/industry/technology/technology-media-telecom-outlooks/sports-industry-outlook.html>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- GRAND VIEW RESEARCH. Sports - Immersive entertainment market outlook. Grand View Research, 2025. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/horizon/statistics/immersive-entertainment-market/application/sports/global>. Acesso em: 17 set. 2025.
- GRAND VIEW RESEARCH. Virtual Sports Market Size, Share & Growth Report, 2030. Grand View Research, 2025. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/virtual-sports-market-report>. Acesso em: 4 set. 2025.
- HEIDARI, S. et al. Exploring the application of knowledge transfer to sports video data. *Frontiers in Sports and Active Living*, [s. l.], v. 6, p. 1460429, 7 fev. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1460429>. Acesso em: 4 set. 2025.
- IEEE BRAIN INITIATIVE. IEEE Neuroethics Framework: Sports & Competitions. IEEE, 2025. Disponível em: <https://brain.ieee.org/publications/ieee-neuroethics-framework/ieee-neuroethics-framework-sports-competitions/>. Acesso em: 4 set. 2025.
- KIM, J.-H. et al. Ethical implications of artificial intelligence in sport: A systematic scoping review. *Journal of Sport Health Science*, vol 14, Dez. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2025.101047>. Acesso em: 4 set. 2025
- KING, A. A.; BAATARTOGTOKH, B. How useful is the theory of disruptive innovation? **MIT Sloan Management Review**, v. 57, n. 1, p. 77-90, 2015. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/how-useful-is-the-theory-of-disruptive-innovation/>. Acesso em 4 set. 2025
- LI, L.; SMITH, D.M. Neural efficiency in athletes: a systematic review. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, v. 15, p. 698555, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2021.698555>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- LI, Y. et al. Advancements in virtual reality for performance enhancement in combat sports: a mini-review and perspective. **Frontiers in Psychology**, v. 16, 5 mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1563212>.
- LUU, T. P. et al. Real-time EEG-based brain-computer interface to a virtual avatar enhances cortical involvement in human treadmill walking. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 8895, 21

- ago. 2017. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09187-0>. Acesso em: 15 set. 2025.
- MADUWANTHA, K. et al. Accessibility of Motion Capture as a Tool for Sports Performance Enhancement for Beginner and Intermediate Cricket Players. *Frontiers in Sports and Active Living*, v. 6, p. 1386101, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24113386>. Acesso em: 17 set. 2025.
- MATEUS, N. et al. Empowering the sports scientist with artificial intelligence in training, performance, and health management. *Sensors*, v. 25, n. 1, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25010139>. Acesso em: 17 set. 2025.
- NIJHOLT, A. et al. Brain-computer interfaces for non-clinical (home, sports, art, entertainment, education, well-being) applications. *Frontiers in Computer Science*, v. 4, 24 fev. 2022. doi: <https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.860619>. Acesso em: 24 ago. 2025.
- QIN Y, ROCHA C.M. e MORROW S. Knowledge management in sport mega-events: A systematic literature review. *Front. Sports Act. Living*, 05 Dez 2022 Sec. Sport, Leisure, Tourism, and Events. DOI: <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.1056390>. Acesso em: 4 set. 2025.
- QIU, L. et al. Improved classification performance of EEG-fNIRS multimodal brain-computer interface based on multi-domain features and multi-level progressive learning. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 16, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.973959>. Acesso em: 17 set. 2025.
- RAAB, M.; ARAÚJO, D. Embodied cognition with and without mental representations: the case of embodied choices in sports. *Frontiers in Psychology*, v. 10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01825>. Acesso em: 4 set. 2025.
- TAM, W. et al. Human motor decoding from neural signals: a review. *BMC Biomedical Engineering*, v. 1, n. 1, p. 22, 2019. doi: <https://doi.org/10.1186/s42490-019-0022-z>. Acesso em: 18 set. 2025.
- TRIVEDI, U. et al. Biomimetic approaches for human arm motion generation: literature review and future directions. *Sensors*, v. 23, n. 8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23083912>. Acesso em: 17 set. 2025.
- WANG, C.-H.; TSAI, K.-Y.. Optimization of machine learning method combined with brain-computer interface rehabilitation system. *Journal of Physical Therapy Science*, v. 34, n. 5, p. 371-378, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1589/jpts.34.379>. Acesso em: 17 set. 2025.
- WANG, X.; LIU, Z. Three-dimensional reconstruction of national traditional sports cultural heritage based on feature clustering and artificial intelligence. *Computational Intelligence and Neuroscience*, v. 2022, 8 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/8159045>. Acesso em: 17 set. 2025.
- YAU, Y.; HSIAO, C.-H. The technology acceptance model and older adults' exercise intentions—a systematic literature review. *Geriatrics*, v. 7, n. 6, 27 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/geriatrics7060124>. Acesso em: 4 set. 2025.
- ZHANG, Y. et al. Systematic review for knowledge transfer at international sport mega-events. *Sustainability*, v. 15, n. 6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15064902>. Acesso em: 4 set. 2025.

ZHAO S.; GUO L. Improving Athlete Data Protection: Tackling Privacy and Economic Risks in Digital Security. *International Journal of Education and Humanities*, [S. l.], v. 4, n. 4, p. 417–429, 2024. DOI: [https://doi.org/10.58557/\(ijeh\).v4i4.263](https://doi.org/10.58557/(ijeh).v4i4.263). Acesso em: 17 set. 2025.