

Aspectos éticos das neurotecnologias invasivas: revisão integrativa da literatura

Ricardo Ferreira Gomes¹, Rejane Laranja¹, Jonas Byk¹, Silvania Furtado¹, Robson Amorim¹

1. Universidade Federal do Amazonas, Manaus/AM, Brasil.

Resumo

O avanço das neurotecnologias, como estimulação cerebral profunda e as interfaces cérebro-computador, tem ampliado as possibilidades terapêuticas e cognitivas, mas também provocado dilemas éticos inéditos. Este estudo realizou revisão integrativa da literatura, com base nas diretrizes PRISMA, nas bases Medline, Lilacs, BVS e SciELO, de 23 artigos publicados entre 2015 e 2025. A análise evidenciou cinco eixos éticos principais: autonomia e consentimento informado; identidade e autenticidade; privacidade mental e direitos neurais fundamentais; justiça e acesso equitativo; e responsabilidade moral e governança. Os resultados apontam que as neurotecnologias desafiam os princípios clássicos da bioética e demandam novas formas de governança ética global, capazes de proteger a liberdade cognitiva, a dignidade mental e a equidade no acesso. Conclui-se que a bioética contemporânea deve antecipar riscos e propor diretrizes que conciliem inovação tecnológica e salvaguarda da condição humana.

Palavras-chave: Bioética. Consentimento livre e esclarecido. Estimulação encefálica profunda. Interfaces cérebro-computador. Privacidade. Tecnologia biomédica. Direitos humanos.

Resumen

Aspectos éticos de las neurotecnologías invasivas: revisión integradora de la literatura

El avance de las neurotecnologías, como la estimulación cerebral profunda y las interfaces cerebro-computadora, ha ampliado las posibilidades terapéuticas y cognitivas, pero también ha generado dilemas éticos sin precedentes. Este estudio realizó una revisión integradora de la literatura, basada en las directrices PRISMA, en las bases Medline, Lilacs, BVS y SciELO, incluyendo 23 artículos publicados entre 2015 y 2025. El análisis evidenció cinco ejes éticos principales: autonomía y consentimiento informado; identidad y autenticidad; privacidad mental y derechos neurales fundamentales; justicia y acceso equitativo; y responsabilidad moral y gobernanza. Los resultados indican que las neurotecnologías desafían los principios clásicos de la bioética y exigen nuevas formas de gobernanza ética global capaces de proteger la libertad cognitiva, la dignidad mental y la equidad en el acceso. Se concluye que la bioética contemporánea debe anticipar riesgos y proponer directrices que concilien la innovación tecnológica con la salvaguarda de la condición humana.

Palabras clave: Bioética. Consentimiento informado. Estimulación encefálica profunda. Interfaces cerebro-computador. Privacidad. Tecnología biomédica. Derechos humanos.

Abstract

Ethical aspects of invasive neurotechnologies: an integrative literature review

Advances in neurotechnologies, such as deep brain stimulation and brain-computer interfaces, have expanded therapeutic and cognitive possibilities, but have also generated unprecedented ethical dilemmas. This study conducted an integrative literature review based on PRISMA guidelines using Medline, Lilacs, BVS, and SciELO databases, including 23 articles published between 2015 and 2025. The analysis identified five main ethical axes: autonomy and informed consent; identity and authenticity; mental privacy and fundamental neurorights; justice and equitable access; and moral responsibility and governance. The results indicate that neurotechnologies challenge the classical principles of bioethics and require new forms of global ethical governance capable of protecting cognitive freedom, mental dignity, and equity of access. It is concluded that contemporary bioethics must anticipate risks and propose guidelines that reconcile technological innovation with the safeguarding of the human condition.

Keywords: Bioethics. Informed Consent. Deep brain stimulation. Brain-computer interfaces. Privacy. Biomedical technology. Human rights.

Declararam não haver conflito de interesse.

As intervenções neurocirúrgicas evoluíram notavelmente desde as primeiras técnicas de estimulação cerebral nas décadas de 1950 e 1960, culminando em procedimentos de alta precisão como estimulação cerebral profunda (*deep brain stimulation*, DBS) e as interfaces cérebro-computador (*brain-computer interfaces*, BCI). Esses avanços permitem intervir diretamente na atividade neural para restaurar funções motoras, tratar transtornos psiquiátricos e, mais recentemente, ampliar capacidades cognitivas e comunicativas humanas¹.

Historicamente, a neurocirurgia funcional foi guiada por princípios biomédicos baseados na proporcionalidade entre riscos e benefícios. Contudo, o surgimento de dispositivos capazes de ler e modular estados mentais redefiniu as fronteiras entre terapia e manipulação cognitiva, deslocando o debate ético para dimensões filosóficas e jurídicas da subjetividade².

As BCI e a DBS inauguram uma fronteira da integração homem-máquina, na qual o cérebro se torna simultaneamente fonte e destino de dados neurais. Essa simbiose desafia noções clássicas de identidade e agência, já que sistemas de modulação cerebral podem afetar a autonomia e a continuidade do *self*^{1,3}.

Enquanto as BCI decodificam sinais neurais para permitir comunicação ou controle de dispositivos, a DBS modula circuitos específicos e mostra eficácia comprovada em distúrbios como Parkinson, depressão resistente e transtorno obsessivo-compulsivo (TOC). No entanto, ambas levantam dilemas éticos sobre consentimento e autenticidade pessoal^{4,5}.

A bioética contemporânea desloca seu foco da mera segurança física para a proteção da subjetividade e da integridade mental, dando origem ao conceito de direitos neurais fundamentais (*neurorights*) – um conjunto de direitos destinados a resguardar liberdade cognitiva, privacidade neural e identidade pessoal⁶⁻⁸.

A crescente entrada de empresas privadas intensificou os riscos de exploração de dados neurais e manipulação mental. A comercialização dessas tecnologias requer novos modelos de governança e transparência, especialmente diante da opacidade algorítmica e da possibilidade de controle externo de implantes cerebrais (*brainjacking*)^{9,10}.

Diante desse cenário, o consentimento informado tradicional mostra-se insuficiente. Tecnologias adaptativas e sistemas de aprendizado autônomo exigem consentimento contínuo e revisável, reconhecendo a vulnerabilidade do sujeito neurotecnológico^{11,12}.

No âmbito internacional, organismos como a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) e o Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) propõem diretrizes para governança de dados cerebrais e proteção de direitos mentais¹³. Ainda assim, persiste uma lacuna entre avanço tecnológico e regulação ética.

Compreender como a literatura bioética contemporânea aborda conflitos éticos relativos a autonomia, identidade pessoal e privacidade neural torna-se essencial para delinear um novo paradigma ético para a neurocirurgia do século XXI.

Método

Trata-se de revisão integrativa da literatura, conduzida em seis etapas: identificação do tema e formulação da questão norteadora, definição dos critérios de inclusão e exclusão, busca nas bases de dados, seleção dos estudos, extração e categorização das informações e síntese dos resultados¹⁴. A pesquisa foi norteadora pela seguinte questão: “Quais são os principais aspectos éticos relacionados ao uso de neurotecnologias invasivas descritos na literatura científica contemporânea?”. Como questões secundárias, buscou-se identificar os dilemas éticos mais frequentemente discutidos, os princípios bioéticos tensionados e as propostas de governança ética apresentadas na literatura.

A pesquisa foi realizada nas bases Medline (PubMed), Lilacs, BVS e SciELO, com descritores controlados e não controlados relacionados a neurotecnologia, neuroética, interfaces cérebro-computador, neuromodulação e estimulação cerebral profunda, combinados pelos operadores booleanos AND e OR.

Foram incluídos artigos científicos publicados nos últimos dez anos, disponíveis na íntegra, em inglês, português ou espanhol, que abordassem aspectos éticos, sociais, legais ou filosóficos relacionados a neurotecnologias. Foram excluídos estudos duplicados, artigos sem relação direta com a temática, editoriais, cartas ao editor, teses e dissertações.

Quadro 1. Estratégias de busca da pesquisa

Base de dados	Palavras-chave utilizadas
PubMed/Medline	("deep brain stimulation"[tiab] OR DBS[tiab] OR "brain-computer interface"[tiab] OR "brain computer interface"[tiab] OR BCI[tiab] OR "invasive neurotechnology"[tiab] OR "neuroprosthesis"[tiab] OR "neural implant"[tiab] OR neuromodulation[tiab]) AND (neuroethics[tiab] OR "neuroethics"[tiab] OR bioethics[tiab] OR ethics[tiab] OR ethical[tiab] OR moral[tiab]) AND ("personal identity"[tiab] OR identity[tiab] OR personality[tiab] OR self[tiab] OR selfhood[tiab] OR agency[tiab] OR personhood[tiab] OR "neural privacy"[tiab] OR "mental privacy"[tiab] OR privacy[tiab] OR "brain data"[tiab] OR neurorights[tiab] OR "cognitive liberty"[tiab] OR "mental integrity"[tiab] OR "informed consent"[tiab] OR consent[tiab])
Lilacs	("estimulação cerebral profunda" OR DBS) AND (bioética OR "ética médica")
BVS	("estimulação cerebral profunda" OR DBS) AND (bioética OR "ética médica")
SciELO	("deep brain stimulation" OR "estimulação cerebral profunda" OR DBS OR "brain-computer interface" OR BCI) AND (bioética OR ética)

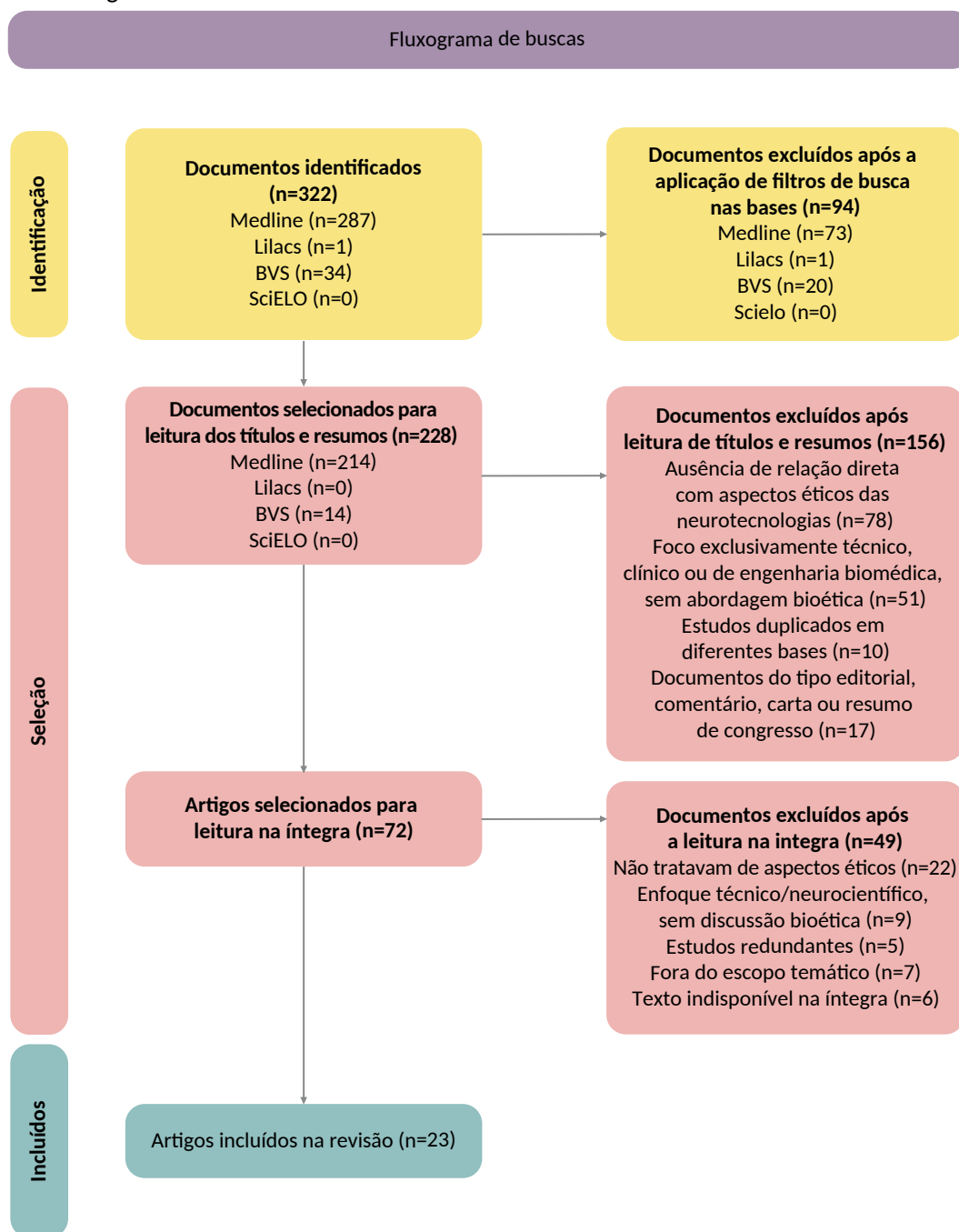
O processo de identificação e seleção dos estudos seguiu as diretrizes do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA)¹⁵. A busca sistematizada nas bases de dados resultou inicialmente em 322 registros, sendo 287 na Medline, um na Lilacs, 34 na BVS e nenhum na SciELO. Após a aplicação de filtros de busca, 94 registros foram excluídos, restando 228 artigos para leitura dos títulos e resumos. Posteriormente, após exclusão de duplicados, triagem e leitura completa dos textos, foram incluídos 23 artigos que atenderam aos critérios de elegibilidade estabelecidos. O processo de seleção está descrito no fluxograma PRISMA (Figura 1).

Durante a triagem, 156 registros foram excluídos por não apresentarem relação ética direta,

por apresentarem enfoque técnico/biomédico, duplicação ou formato não científico (editoriais e comentários). Após a leitura completa dos textos remanescentes (n=72), 49 estudos foram excluídos por ausência de abordagem ética substantiva, foco técnico, redundância, indisponibilidade do texto ou divergência temática.

Ao final do processo, 23 artigos atenderam aos critérios de elegibilidade e foram incluídos na análise. Os dados extraídos foram organizados em planilha própria contendo autor, ano, título, objetivo, tipo de estudo, periódico e principais resultados. A análise dos dados seguiu a técnica de análise de conteúdo, compreendendo as etapas de pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, com identificação de categorias temáticas convergentes.

Figura 1. Fluxograma de buscas



Fonte: adaptado de PRISMA Flow Lilacsram¹⁶

Resultados

Os estudos analisados foram publicados nos últimos dez anos, predominantemente nos últimos cinco, o que evidencia o crescimento recente

das discussões éticas sobre neurotecnologias. A maioria das publicações se deu em periódicos internacionais das áreas de neurociência, bioética e ciências sociais aplicadas a tecnologia, com destaque para contribuições provenientes da Europa e

América do Norte, seguidas por publicações emergentes da Ásia e América Latina.

Predominaram ensaios teóricos e revisões narrativas, seguidos por pesquisas empíricas qualitativas que envolveram especialistas ou usuários de tecnologias neurais. O recorte temático variou entre estimulação cerebral profunda, interfaces

cérebro-computador, tecnologias adaptativas e neuropróteses inteligentes, refletindo a diversidade de aplicações clínicas e experimentais.

A análise integrativa possibilitou a identificação de cinco categorias éticas centrais, que delineiam o panorama contemporâneo das preocupações bioéticas acerca do uso de neurotecnologias.

Quadro 2. Material da análise

Autoria; ano	Título do estudo	Principais resultados
Goering S, Brown T, Klein E; 2021 ¹	Neurotechnology ethics and relational agency	Propõe conceito de “coagência” e ética relacional.
Kostick-Quenet K <i>et al.</i> ; 2022 ⁵	Researchers' ethical concerns about using adaptive deep brain stimulation for enhancement	Identifica preocupações éticas com segurança, justiça e naturalidade.
Wind JJ, Anderson DE; 2008 ¹⁷	From prefrontal leukotomy to deep brain stimulation: the historical transformation of psychosurgery and the emergence of neuroethics	Analisa a transição da psicocirurgia clássica para técnicas contemporâneas (DBS e VNS), destacando o papel da neuroética em redefinir limites éticos no tratamento psiquiátrico invasivo.
Bell E, Mathieu G, Racine E; 2009 ¹⁸	Preparing the ethical future of deep brain stimulation	Dilemas sobre seleção de pacientes, consentimento informado e equidade; alerta para ampliação dos desafios éticos em novas aplicações.
Clausen J; 2011 ¹⁹	Conceptual and ethical issues with brain-hardware interfaces	Identifica dilemas sobre identidade, consentimento e privacidade neural.
Racine E, Bell E, Zizzo N; 2015 ²⁰	Deep brain stimulation: a principled and pragmatic approach to understanding the ethical and clinical challenges of an evolving technology	Propõe abordagem pragmática para contextualizar princípios éticos na prática clínica; destaca dilemas de consentimento, equidade e riscos.
Halpern C; 2016 ²¹	A commentary on attitudes towards deep brain stimulation for addiction	Identifica riscos éticos na aplicação de DBS em populações vulneráveis; questiona a validade do consentimento sob compulsão aditiva; discute dilemas de incentivos financeiros e alterações de identidade e moralidade.
Viaña JNM, Bittlinger M, Gilbert F; 2017 ²²	Ethical considerations for deep brain stimulation trials in patients with early-onset alzheimer's disease	Identifica dilemas éticos sobre seleção, consentimento genético e comunicação de resultados.
Witt K; 2017 ²³	Identity change and informed consent	Critica o modelo tradicional de consentimento e propõe a “abordagem sensível à perspectiva”.
Siegel AM, Barrett MS, Bhati MT; 2017 ²⁴	Deep brain stimulation for Alzheimer's disease: ethical challenges for clinical research	Riscos de consentimento e ilusão terapêutica; propõe algoritmo ético decisional.
Zuk P <i>et al.</i> ; 2018 ²⁵	Neuroethics of neuromodulation: an update	Identifica nove eixos éticos: privacidade neural, consentimento, acesso a dispositivos, DIY <i>neurostimulation</i> , <i>neuroenhancement</i> , mídia, identidade, agência e uso em menores.

continua...

Quadro 2. Continuação

Autoria; ano	Título do estudo	Principais resultados
Zuk P, Lázaro-Muñoz G; 2021 ²⁶	DBS and autonomy: clarifying the role of theoretical neuroethics	Distingue autonomia moral, decisória e executiva; propõe metodologia conceitual para fundamentar medidas empíricas; defende integração entre ética teórica e neurociência.
Mandarelli G <i>et al.</i> ; 2018 ²⁷	Informed consent decision-making in deep brain stimulation	Comprometimentos cognitivos e emocionais podem comprometer a capacidade de consentimento.
Kreitmair KV; 2019 ²⁸	Dimensions of ethical direct-to-consumer neurotechnologies	Define sete dimensões éticas centrais: segurança, privacidade, autenticidade, transparência, justiça etc.
Cannard C <i>et al.</i> ; 2020 ²⁹	Self-health monitoring and wearable neurotechnologies	Apresenta avanços em EEG vestível e discute desafios éticos em privacidade e consentimento.
Klein E; 2020 ³⁰	Ethics and the emergence of brain-computer interface medicine	Destaca novas responsabilidades clínicas e conceitos éticos como privacidade neural e autenticidade.
Van Stuijvenberg OC <i>et al.</i> ; 2024 ³¹	Developer perspectives on the ethics of AI-driven neural implants: a qualitative study	Identifica três eixos éticos: <i>design</i> , ensaios clínicos e impactos sociais; destaca tensões entre acurácia e autonomia.
Ruiz S <i>et al.</i> ; 2024 ³²	Neurorights in the constitution: from neurotechnology to ethics and politics	Identifica ambiguidade conceitual e riscos de sobre-regulação que podem restringir a pesquisa neurocientífica.
Bluhm R <i>et al.</i> ; 2024 ³³	Stakeholders' ethical concerns regarding psychiatric electroceutical interventions: results from a US nationwide survey	DBS e ABI suscitam maior preocupação ética, especialmente sobre consentimento e eficácia.
Livanis E <i>et al.</i> ; 2024 ³⁴	Understanding the ethical issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs)	Identifica dilemas sobre dignidade, autonomia, privacidade e justiça.
Moumdjian RA; 2025 ³⁵	Bioethics of neurotechnologies	Questões de segurança, justiça, privacidade e riscos.
Zhang Q <i>et al.</i> ; 2025 ³⁶	Ethical governance of clinical research on the brain-computer interface for mental disorders: a modified Delphi study	Ênfase em autonomia, privacidade e risco-benefício.
Shaw J <i>et al.</i> ; 2025 ³⁷	Current neuroethical perspectives on deep brain stimulation and neuromodulation for neuropsychiatric disorders: a scoping review of the past 10 years	Foco em autonomia, identidade e justiça.

Autonomia e consentimento informado

A maioria dos estudos destacou os desafios para assegurar o consentimento informado em pesquisas e intervenções com dispositivos invasivos, sobretudo em situações de comprometimento

cognitivo ou transtornos psiquiátricos. A autonomia do paciente é tensionada pela assimetria de informações entre participantes e pesquisadores, bem como pela complexidade técnica dos dispositivos, o que exige estratégias específicas de comunicação e acompanhamento longitudinal.

Identidade, autenticidade e agência pessoal

Diversos trabalhos abordaram os efeitos das neurotecnologias sobre a percepção de si e o sentido de continuidade pessoal. Alterações na personalidade, comportamento ou humor associadas a estimulação cerebral suscitam questionamentos sobre a autenticidade da experiência subjetiva e a atribuição de responsabilidade moral. Parte da literatura recente propõe modelos relacionais de *agency* (agência pessoal), entendida como a capacidade do indivíduo de agir de forma autônoma e moralmente significativa. Nessa perspectiva, discute-se a ideia de agência compartilhada, que considera a interação entre usuário e dispositivo como forma de coautoria da ação.

Privacidade mental e neurorights

Com o avanço das interfaces cérebro-computador e da inteligência artificial aplicadas ao monitoramento neural, emergem preocupações relativas à privacidade dos dados cerebrais e à possibilidade de decodificação de pensamentos ou emoções. Diversos autores propõem a consolidação de direitos neurais fundamentais como liberdade cognitiva, integridade mental e continuidade psicológica como instrumentos jurídicos de proteção diante da manipulação de dados neurais.

Justiça, acesso e governança tecnológica

Discussões sobre justiça distributiva e acesso equitativo foram recorrentes. As tecnologias neurais, de alto custo e acesso restrito, tendem a reproduzir desigualdades socioeconômicas, tanto entre países quanto dentro dos sistemas de saúde. A literatura recomenda o desenvolvimento de políticas públicas e marcos regulatórios internacionais que promovam transparência, inclusão e regulação ética do uso clínico e experimental de neurotecnologias.

Responsabilidade e governança ética

Esta categoria abrange preocupações sobre responsabilidade moral e legal em ações mediadas por dispositivos neurotecnológicos. Questões sobre autoria de atos, falhas técnicas e corresponsabilidade entre paciente, profissional e fabricante

foram amplamente discutidas. Estudos ressaltam a necessidade de comitês multidisciplinares e protocolos de governança ética contínua para mitigar riscos e garantir segurança, rastreabilidade e prestação de contas.

Estudos evidenciam um campo em rápida expansão, que associa inovação tecnológica a dilemas éticos complexos e ainda insuficientemente regulamentados. Há consenso quanto à urgência de diretrizes internacionais integradas, capazes de harmonizar os princípios da bioética – autonomia, beneficência, justiça e não maleficência – com os novos desafios suscitados pelas tecnologias de interface neural.

Discussão

Os resultados desta revisão evidenciam que o debate ético acerca de neurotecnologias constitui campo interdisciplinar em consolidação, articulando neurociência, filosofia, direito e políticas públicas. A integração crescente entre cérebro e máquina por meio de interfaces cérebro-computador e estimulação cerebral profunda ampliou o alcance terapêutico e experimental dessas tecnologias, ao mesmo tempo em que intensificou dilemas bioéticos tradicionais sobre autonomia, identidade e privacidade^{38,39}.

Autonomia e consentimento informado permanecem entre as questões mais complexas. Pacientes submetidos a intervenções neurais invasivas frequentemente enfrentam limitações cognitivas que comprometem a plena compreensão dos riscos e das mudanças subjetivas decorrentes do procedimento. Isso exige um modelo de consentimento dinâmico, contínuo e revisável, ajustado à evolução do dispositivo e do próprio estado mental do participante⁴⁰. A literatura internacional tem reforçado a importância de incorporar abordagens participativas e transparentes no desenvolvimento de BCI e DBS, reconhecendo a vulnerabilidade dos usuários e o desequilíbrio de poder entre desenvolvedores e pacientes^{1,34}.

Identidade pessoal e autenticidade surgem como eixos centrais na ética neurotecnológica. As transformações cognitivas e afetivas induzidas por dispositivos de neuromodulação desafiam a noção de um “eu” estável, suscitando reflexões sobre continuidade psicológica e sentido de

agência^{41,42}. Alguns autores propõem que a experiência neurotecnológica deve ser entendida como forma de “agência compartilhada”, na qual sujeito e tecnologia coparticipam da produção de ações e significados¹. Tal concepção relativiza a ideia de autenticidade ameaçada e enfatiza a plasticidade identitária como parte do processo de integração mente-máquina⁴³.

O debate sobre privacidade mental e *neurorights* ganhou destaque recente com o avanço das BCI capazes de decodificar padrões cerebrais e inferir estados mentais. A proteção de dados neurais requer arcabouços ético-jurídicos específicos, visto que a informação cerebral carrega potencial interpretativo superior a qualquer outro dado biométrico⁴⁴. Propostas como os *neurorights* buscam assegurar a liberdade cognitiva e a integridade mental diante da possibilidade de manipulação algorítmica ou comercialização de sinais neurais⁴⁵. Esse debate reflete a urgência de harmonizar inovações tecnológicas com instrumentos legais de proteção da dignidade cognitiva.

Outro ponto crítico diz respeito a justiça e acesso equitativo. O desenvolvimento e a aplicação de neurotecnologias concentram-se majoritariamente em países de alta renda, o que tende a reproduzir desigualdades estruturais. Pesquisadores recentes destacam a importância de políticas globais de regulação e incentivo à pesquisa translacional, de modo a democratizar os benefícios da neurociência aplicada e mitigar riscos de elitização tecnológica^{46,47}. Essa perspectiva vai ao encontro do princípio da equidade bioética, segundo o qual o progresso científico deve atender ao bem comum, e não aprofundar exclusões sociais³⁹.

A responsabilidade moral e legal em contextos de neuromodulação representa outro desafio emergente. Quando dispositivos interagem diretamente com a vontade e o comportamento humanos, torna-se difícil determinar a autoria plena das ações mediadas tecnologicamente⁴⁸. Modelos recentes de governança ética propõem estruturas de responsabilidade compartilhada entre paciente, profissional e desenvolvedor, acompanhadas de sistemas de rastreabilidade técnica e auditoria algorítmica. Essa abordagem coaduna-se com a noção de “bioética prospectiva”,

que visa antecipar impactos éticos antes da consolidação clínica das inovações.

De forma geral, a literatura converge para a necessidade de institucionalizar uma bioética adaptada à era neurotecnológica – uma ética que seja ao mesmo tempo normativa, regulatória e reflexiva. As iniciativas da Unesco e do IEEE indicam um movimento internacional em prol de diretrizes globais sobre governança de dados cerebrais e integridade mental, mas ainda há lacunas de aplicação concreta⁹. Nesse sentido, a revista *Bioética* tem se destacado no Brasil ao discutir a neuroética como campo institucional de mediação entre ciência e sociedade^{39,43}, reforçando a importância de contextualizar globalmente os desafios éticos da interface cérebro-máquina.

Em síntese, o avanço das neurotecnologias demanda reformulação da ética biomédica clássica, ampliando-a para incluir autonomia cognitiva, privacidade neural e dignidade mental como valores fundamentais. O fortalecimento de políticas públicas, a interdisciplinaridade e o diálogo contínuo entre ciência e bioética são caminhos essenciais para assegurar que o progresso neurotecnológico permaneça alinhado à proteção do humano.

Considerações finais

Esta revisão integrativa demonstra que o avanço das neurotecnologias redefine os contornos clássicos da bioética, impondo a necessidade de novas abordagens para lidar com dilemas emergentes relacionados a autonomia, identidade, privacidade e justiça. As transformações promovidas por dispositivos como estimulação cerebral profunda e interfaces cérebro-computador ampliam as possibilidades terapêuticas, mas também introduzem riscos inéditos de vulnerabilidade cognitiva, manipulação de dados neurais e desigualdade no acesso a inovações.

Os estudos analisados evidenciam a urgência de uma governança ética global, fundada em princípios de responsabilidade compartilhada, transparência e respeito à dignidade humana. A consolidação de diretrizes internacionais, como a proposta dos *neurorights*, constitui passo fundamental para equilibrar benefícios clínicos e riscos morais, assegurando o desenvolvimento

responsável das neurotecnologias. Nesse contexto, reforça-se a necessidade de fortalecer a interdisciplinaridade entre neurociência, filosofia, direito e políticas públicas, de modo a orientar práticas científicas seguras, justas e humanizadas.

Em síntese, a bioética contemporânea é chamada a antecipar e a mediar os impactos sociais e

existenciais da interação entre cérebro e máquina. Manter o debate ético e regulatório permanentemente atualizado é condição essencial para que o progresso neurotecnológico não apenas expanda as capacidades humanas, mas também preserve os valores que fundamentam o próprio sentido de humanidade.

Referências

1. Goering S, Brown T, Klein E. Neurotechnology ethics and relational agency. *Philos Compass* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];16(4). DOI: 10.1111/phc3.12734
2. Michałowska M, Kowalczyk Ł, Marcinkowska W, Malicki M. Being outside the decision-loop: the impact of deep brain stimulation and brain-computer interfaces on autonomy. *Analiza i Egzystencja* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];56:25-52. DOI: 10.18276/aie.2021.56-02
3. Allen WL, Giordano J, Okun MS. DBS-Induced changes in personality, agency, narrative and identity. *AJOB Neurosci* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];14(3):300-2. DOI: 10.1080/21507740.2023.2243865
4. Muñoz KA, Kostick K, Sanchez C, Kalwani L, Torgerson L, Hsu R *et al.* Researcher perspectives on ethical considerations in adaptive deep brain stimulation trials. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2020 [acesso 1º dez 2025];14. DOI: 10.3389/fnhum.2020.578695
5. Kostick-Quenet K, Kalwani L, Koenig B, Torgerson L, Sanchez C, Munoz K *et al.* Researchers' ethical concerns about using adaptive deep brain stimulation for enhancement. *Front Hum Neurosci* [Internet]. 2022 [acesso 1º dez 2025];16:813922. Disponível: <https://bit.ly/4fBwDRU>
6. Lighthart S, Ienca M, Meynen G, Molnár-Gábor F, Andorno R, Bublitz C *et al.* Minding rights: mapping ethical and legal foundations of "neurorights". *Camb Q Healthc Ethics* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];1-21. DOI: 10.48550/arxiv.2302.06281
7. Muñoz JM, Bernácer J, Güell F. A conceptual framework to safeguard the neuroright to personal autonomy. *Neuroethics* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];16(3):1-13. DOI: 10.1007/s12152-023-09523-4
8. Karunambigai S, Shree AIV. Neurorights safeguarding mental autonomy in a digital era. *IJFMR* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];6(6). DOI: 10.36948/ijfmr.2024.v06i06.31409
9. Lavazza A, Balconi M, Ienca M, Minerva F, Pizzetti FG, Reichlin M *et al.* Neuralink's brain-computer interfaces: medical innovations and ethical challenges. *Front Hum Dyn* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];7. DOI: 10.3389/fhumd.2025.1553905
10. Pugh J, Pycroft L, Sandberg A, Aziz T, Savulescu J. Brainjacking in deep brain stimulation and autonomy. *Ethics Inf Technol* [Internet]. 2018 [acesso 1º dez 2025];20(3):219-32. DOI: 10.1007/s10676-018-9466-4
11. Yusifova L. Ethical and legal aspects of using brain-computer interface in medicine: protection of patient's neuro privacy [tese] [Internet]. Bologna: Alma Mater Studiorum Università di Bologna; 2020 [acesso 1º dez 2025]. DOI: 10.6092/unibo/amsdottorato/9342
12. Kapitonova M, Kellmeyer P, Vogt S, Ball T. A framework for preserving privacy and cybersecurity in brain-computer interfacing applications. *ArXiv* [Internet]. 2022 [acesso 1º dez 2025]. DOI: 10.48550/arxiv.2209.09653
13. Flores Filho EGJ, Firmo MC. Human dignity and neurorights in the digital age. *BJLTI* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];1(2):87-107. DOI: 10.59224/bjlti.v1i2.87-107
14. Whittemore R, Knafl K. The integrative review: updated methodology. *J Adv Nurs* [Internet]. 2005 [acesso 1º dez 2025];52(5):546-53. DOI: 10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

15. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD *et al*. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];372. DOI: 10.1136/bmj.n71
16. PRISMA flow diagram [Internet]. [New York]: Prisma; 2020 [acesso 1º dez 2025]. Disponível: <https://bit.ly/4wD5Ri7>
17. Wind JJ, Anderson DE. From prefrontal leukotomy to deep brain stimulation: the historical transformation of psychosurgery and the emergence of neuroethics. *Neurosurg Focus* [Internet]. 2008 [acesso 1º dez 2025];25(1):10. DOI: 10.3171/FOC/2008/25/7/E10
18. Bell E, Mathieu G, Racine E. Preparing the ethical future of deep brain stimulation. *Surg Neurol* [Internet]. 2009 [acesso 1º dez 2025];72(6):577-86. DOI: 10.1016/j.surneu.2009.03.029
19. Clausen J. Conceptual and ethical issues with brain-hardware interfaces. *Curr Opin Psychiatry* [Internet]. 2011 [acesso 1º dez 2025];24(6):495-501. DOI: 10.1097/YCO.0b013e32834bb8ca
20. Racine E, Bell E, Zizzo N. Deep brain stimulation: a principled and pragmatic approach to understanding the ethical and clinical challenges of an evolving technology. *Curr Top Behav Neurosci* [Internet]. 2015 [acesso 1º dez 2025];19:243-63. DOI: 10.1007/7854_2014_336
21. Halpern C. A commentary on attitudes towards deep brain stimulation for addiction. *J Neurol Neuromedicine* [Internet]. 2016 [acesso 1º dez 2025];1(8):1-3. DOI: 10.29245/2572.942x/2016/8.1093
22. Viaña JNM, Bittlinger M, Gilbert F. Ethical considerations for deep brain stimulation trials in patients with early-onset alzheimer's disease. *JAD* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];58(2):289-301. DOI: 10.3233/JAD-161073
23. Witt K. Identity change and informed consent. *J Med Ethics* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];43(6):384-90. DOI: 10.1136/medethics-2016-103684
24. Siegel AM, Barrett MS, Bhati MT. Deep brain stimulation for Alzheimer's disease: ethical challenges for clinical research. *JAD* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];56(2):429-39. DOI: 10.3233/JAD-160356
25. Zuk P, Torgerson L, Sierra-Mercado D, Lázaro-Muñoz G. Neuroethics of neuromodulation: an update. *Curr Opin Biomed Eng* [Internet]. 2018 [acesso 1º dez 2025];8:45-50. DOI: 10.1016/j.cobme.2018.10.003
26. Zuk P, Lázaro-Muñoz G. DBS and autonomy: clarifying the role of theoretical neuroethics. *Neuroethics* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];14(1):83-93. DOI: 10.1007/s12152-019-09417-4
27. Mandarelli G, Moretti G, Pasquini M, Nicolò G, Ferracuti S. Informed consent decision-making in deep brain stimulation. *Brain Sci* [Internet]. 2018 [acesso 1º dez 2025];8(5):84. DOI: 10.3390/brainsci8050084
28. Kreitnair K V. Dimensions of ethical direct-to-consumer neurotechnologies. *AJOB Neurosci* [Internet]. 2019 [acesso 1º dez 2025];10(4):152-66. DOI: 10.1080/21507740.2019.1665120
29. Cannard C, Brandmeyer T, Wahbeh H, Delorme A. Self-health monitoring and wearable neurotechnologies. *Handb Clin Neurol* [Internet] 2020 [acesso 1º dez 2025];168:207-32. DOI: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00016-0
30. Klein E. Ethics and the emergence of brain-computer interface medicine. *Handb Clin Neurol* [Internet]. 2020 [acesso 1º dez 2025];168:329-39. DOI: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00024-X
31. Van Stuijvenberg OC, Broekman MLD, Wolff SEC, Bredenoord AL, Jongsma KR. Developer perspectives on the ethics of AI-driven neural implants: a qualitative study. *Sci Rep* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];14(1):7880. DOI: 10.1038/s41598-024-58535-4
32. Ruiz S, Valera L, Ramos P, Sitaram R. Neurorights in the constitution: from neurotechnology to ethics and politics. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025]; 379(1915). DOI: 10.1098/rstb.2023.0098
33. Bluhm R, Sipahi ED, Achtyes ED, McCright AM, Cabrera LY. Stakeholders' ethical concerns regarding psychiatric electroceutical interventions: results from a US nationwide survey. *AJOB Empir Bioeth* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];15(1):11-21. DOI: 10.1080/23294515.2023.2224592

34. Livanis E, Voultsov P, Vadikolias K, Pantazakos P, Tsaroucha A. Understanding the ethical issues of Brain-Computer Interfaces (BCIs): a blessing or the beginning of a dystopian future? *Cureus* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];16(4):e58243. DOI: 10.7759/cureus.58243
35. Moumdjian RA. Bioethics of neurotechnologies: a field in effervescence. *Neurol Res* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];47(8):756-9. DOI: 10.1080/01616412.2025.2499896
36. Zhang Q, Zhang C, Ji H, Chen J, Wang X, Zhang T *et al*. Ethical governance of clinical research on the brain-computer interface for mental disorders: a modified Delphi study. *Gen Psychiatr* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];38(4). DOI: 10.1136/gpsych-2024-101755
37. Shaw J, Pyreddy S, Rosendahl C, Lai C, Ton E, Carter R. Current neuroethical perspectives on deep brain stimulation and neuromodulation for neuropsychiatric disorders: a scoping review of the past 10 years. *Diseases* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];13(8). DOI: 10.3390/diseases13080262
38. Burwell S, Sample M, Racine E. Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review. *BMC Med Ethics* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];18(1):60. DOI: 10.1186/s12910-017-0220-y
39. Hamdan AC. Neuroethics: the institutionalization of ethics in neuroscience. *Rev bioét (Impr.)* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];25(2):275-81. DOI: 10.1590/1983-80422017252187
40. Lighthart S, Kooijmans T, Douglas T, Meynen G. Closed-loop brain devices in offender rehabilitation: autonomy, human rights, and accountability. *Camb Q Healthc Ethics* [Internet]. 2021 [acesso 1º dez 2025];30(4):669-80. DOI: 10.1017/S0963180121000141
41. Pugh J. Clarifying the normative significance of “personality changes” following deep brain stimulation. *Sci Eng Ethics* [Internet]. 2020 [acesso 1º dez 2025];26(3):1655-80. DOI: 10.1007/s11948-020-00207-3
42. Gilbert F, Ienca M, Cook M. How I became myself after merging with a computer: does human-machine symbiosis raise human rights issues? *Brain Stimul* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];16(3):783-9. DOI: 10.1016/j.brs.2023.04.016
43. Marino Júnior R. Neuroética: o cérebro como órgão da ética e da moral. *Rev bioét (Impr.)* [Internet]. 2010 [acesso 1º dez 2025];18(1):109-20. Disponível: <https://bit.ly/4wLoCAj>
44. Brown CML. Neurorights, mental privacy, and mind reading. *Neuroethics* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025];17(2). DOI: 10.1007/s12152-024-09568-z
45. Ienca M, Andorno R. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. *Life Sci Soc Policy* [Internet]. 2017 [acesso 1º dez 2025];13(1):5. DOI: 10.1186/s40504-017-0050-1
46. Sun X-yu, Ye B. The functional differentiation of brain-computer interfaces (BCIs) and its ethical implications. *Humanit Soc Sci Commun* [Internet]. 2023 [acesso 1º dez 2025];10(1). DOI: 10.1057/s41599-023-02419-x
47. Boonstra JT. Ethical imperatives in the commercialization of brain-computer interfaces. *IBRO Neurosci Rep* [Internet]. 2025 [acesso 1º dez 2025];19:718-24. DOI: 10.1016/j.ibneur.2025.10.004
48. Kubben P. Invasive Brain-Computer Interfaces: a critical assessment of current developments and future prospects. *JMIR Neurotechnology* [Internet]. 2024 [acesso 1º dez 2025]; 3. DOI: 10.2196/60151

Ricardo Ferreira Gomes – Mestrando – ricardo.gomes6401@gmail.com

 0009-0004-5304-3490

Rejane Laranja – Mestranda – laranjarejane97@gmail.com

 0000-0001-9575-4013

Jonas Byk – Doutor – jonas.byk@hotmail.com

 0000-0001-5854-4316

Silvania Furtado – Doutora – silvaniafurtado@ufam.edu.br

 0000-0003-0065-3119

Robson Amorim – Doutor – amorim.robson@gmail.com

 0000-0003-2391-7519

Correspondência

Ricardo Ferreira Gomes – Universidade Federal do Amazonas. Rua Afonso Pena, 1053, Centro, CEP 69020-160. Manaus/AM, Brasil.

Contribuições dos autores

Ricardo Ferreira Gomes: concepção do estudo; delineamento metodológico; coleta de dados; análise e interpretação dos dados; redação do manuscrito. Rejane Laranja: concepção do estudo; delineamento metodológico; coleta de dados; análise e interpretação dos dados; redação do manuscrito. Silvania Furtado: revisão crítica do conteúdo; sugestões para aprimoramento do manuscrito. Jonas Byk: revisão do manuscrito. Robson Amorim: orientação do estudo; revisão final do manuscrito.

Disponibilidade de dados: Todos os dados utilizados ou gerados na pesquisa estão integralmente descritos e apresentados no corpo do artigo.

Editora responsável: Dilza Teresinha Ambrós Ribeiro

Recebido: 12.12.2025

Revisado: 5.4.2026

Aprovado: 6.4.2026