

⟨ radar tecnológico ⟩

neurotécnicas



ANPD

Autoridade Nacional de Proteção de Dados

‹ radar tecnológico ›

nº 4

neurotecnologias

*Diego Carvalho Machado
Angela Halen Claro Franco
Eduardo André Viana Alves*

ANPD
Brasília, DF
2025

ANPD
Autoridade Nacional de Proteção de Dados

Diretor-Presidente

Waldemar Gonçalves Ortunho Junior

Diretores

Arthur Pereira Sabbat

Iagê Zendron Miola

Miriam Wimmer

Coordenação-Geral de Tecnologia e Pesquisa

Equipe de elaboração

Diego Carvalho Machado

Angela Halen Claro Franco

Eduardo André Viana Alves

Coordenação e Revisão

Albert França Josuá Costa

Gustavo Andrade Bruzeguez

Estagiária

Fernanda Nunes Feitosa Barros

1^a edição

Publicação digital – PDF

Radar Tecnológico, Número 4, JUNHO 2025

ANPD

SCN, Qd. 6, Conj. A,

Ed. Venâncio 3000, Bl. A, 9º andar

Brasília, DF · Brasil · 70716-900

t. (61) 2025-8101

www.gov.br/anpd

Como citar esta publicação:

ANPD. **Radar tecnológico**: neurotecnologias. Brasília, DF: ANPD, 2025. (n. 4). Disponível em: [incluir link do documento]. Acesso em: [incluir data de acesso ao documento].

< sobre a série >

A série “Radar Tecnológico” é uma produção periódica da ANPD que objetiva realizar abordagens concisas de tecnologias emergentes que vão impactar ou já estejam impactando o cenário nacional e internacional da proteção de dados.

Sem a intenção de esgotar as temáticas ou firmar posicionamentos institucionais, o propósito da série é agregar informações relevantes ao debate da proteção de dados no País, com textos estruturados de forma didática e acessível ao público em geral.

Para cada tema, são abordados os conceitos principais, as potencialidades e as perspectivas de futuro sempre com ênfase na proteção de dados no contexto brasileiro.

< lista de abreviatura e siglas >

- AEPD** - Agencia Española de Protección de Datos
ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BRAINN - Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology
CGTP - Coordenação-Geral de Tecnologia e Pesquisa
CONITEC - Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no Sistema Único de Saúde
CTI - Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer
DReANNs - Dispositivos de Reabilitação e Assistência em Neurociência e Neurotecnologias
EDPS - European Data Protection Supervisor
EEG - Eletroencefalografia
fMRI - Functional Magnetic Resonance Imaging
fnIRS - Functional Near Infrared Spectroscopy
GPA - Global Privacy Assembly
ICO - Information Commissioner's Office
IRMF - Imagem por Ressonância Magnética Funcional
IIN-ELS - Instituto Internacional de Neurociências Edmond e Lily Safra
INCT NeuroTec-R - Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Neurotecnologia Responsável
ISD - Instituto de Ensino e Pesquisa Alberto Santos Dumont
LGD - Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais
MEC - Ministério da Educação
OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEA - Organização dos Estados Americanos
ONU - Organização das Nações Unidas
PET-CT - Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons
RIPD - Red Iberoamericana de Protección de Datos
SUS - Sistema Único de Saúde
tDCS - Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
tFUS - Estimulação Transcraniana por Ultrassom Focado
UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais
UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas
UNIFESP - Universidade Federal de São Paulo

08

Introdução

sumário < >

11

Conceitos principais

19

Aplicações e potenciais usos das neurotecnoLOGIAS

22

NeurotecnoLOGIAS e a proteção de dados pessoais

36

NeurotecnoLOGIAS no contexto brasileiro

42

Perspectivas de futuro

46

Considerações finais

Introdução

Desde a década de 2010, o interesse em torno das neurotecno logias é crescente, inclusive devido à sua integração a tecnologias digitais e inteligência artificial (UNESCO, 2023, p. 33; Yuste, 2023). Nos foros acadêmicos, há quem defenda que os avanços significativos dessas novas tecnologias possuem impactos transformadores na pesquisa no campo da neurociência (Vázquez-Guardado *et al.*, 2020) e sua aplicação médica para tratamentos neurológicos e psiquiátricos (ONU, 2024, p. 21-23). A confirmar essa perspectiva, em 2023, ganhou repercussão mundo afora a notícia de que pesquisadores do Instituto Federal Suíço de Tecnologia criaram um dispositivo de “interface cérebro-espinha” (*brain-spine interface*) que possibilitou Gert-Jan Oskam, um homem com total paralisia nas pernas, andar novamente (Gumbrecht; McPhillips, 2023). A neurotecnologia cria uma “ponte digital do cérebro à espinha dorsal” (Lorach *et al.*, 2023, p. 126). Quando Oskam pensa em andar, os implantes cranianos detectam a atividade elétrica no córtex, a camada externa do cérebro. Esse sinal é transmitido e decodificado por um computador que ele usa em uma mochila e que, em seguida, transmite os dados para o gerador de pulsos da coluna vertebral (Lewis, 2023).

De outro lado, os interesses econômicos do mercado também impulsionam de forma intensa as neurotecno logias e sua aplicação em setores do mercado consumidor como educação (Williamson, 2019). Estimativa recente aponta que existe um mercado que pode crescer a uma taxa anual de 14,4%, passando de US\$ 11,3 bilhões em 2021 para US\$ 24,2 bilhões em 2027 (UNESCO, 2023, p. 18).

Além do potencial industrial e de promover o progresso da ciência e bem-estar humano, as tecnologias que interagem com o cérebro suscitam questões ético-jurídicas muito importantes, notadamente devido a riscos criados para direitos (humanos) fundamentais tais como o livre desenvolvimento da personalidade, liberdade de pensamento, privacidade, integridade corporal e não discriminação. Segundo relatório do Conselho de Direitos Humanos da Organização das Nações Unidas (ONU), as neurotecno logias afetam os direitos humanos (e

fundamentais) de uma forma única (ONU, 2024, p. 18). Por exemplo, neurotecnologias do tipo interface cérebro-computador (*Brain-Computer Interface*), como dispositivos de *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), Imagem por Ressonância Magnética Funcional (IRMf), e eletroencefalografia (EEG), ao invés de usados para o diagnóstico médico, podem ser empregados por governos e entes privados para vigilância e monitoramento de indivíduos (lenca; Jotterand; Elger, 2018, p. 270).

O tema tem sido objeto de intenso debate acadêmico e interdisciplinar¹ e ganhou os mais relevantes foros internacionais tais como ONU (2024), Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO (2023), Organização dos Estados Americanos – OEA (2023) e Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2019).

Pensar a governança e a regulação jurídica das neurotecnologias é um dos desdobramentos desse debate de escala global. Existem pelo menos três correntes a respeito de como essas tecnologias emergentes devem ser reguladas, haja vista os marcos normativos atualmente em vigor, os possíveis impactos e desafios impostos aos direitos humanos e fundamentais. A primeira argumenta que novos direitos devem ser criados para proteger de forma específica o cérebro e a mente: os neurodireitos. Considera-se que o âmbito da proteção dos direitos e liberdades hoje existentes é insuficiente para oferecer proteção jurídica adequada contra os usos indevidos de neurotecnologias. Entre os neurodireitos figuram os seguintes: direito à liberdade cognitiva, direito à privacidade mental, direito à integridade mental e o direito à continuidade psicológica (lenca; Andorno, 2017; Lighthart et al., 2023, p. 4). A segunda corrente, por sua vez, preconiza que os direitos existentes devem ser interpretados de forma atualizada e adaptada ao novo contexto sociotécnico, mas os novos direitos não são necessários. Seus defensores dispensam a criação de neurodireitos e entendem que os sistemas de direitos humanos e fundamentais vigentes devem ser interpretados e aplicados de acordo com a realidade social e técnica de progressivo desenvolvimento e adoção de neurotecnologias (Rainey et al., 2020; Lighthart et al., 2023, p. 4-5). Por fim, a terceira linha de pensamento entende ser desnecessário reformas legislativas ou

¹ A produção científica é volumosa, de modo que, entre outros, apontamos os seguintes trabalhos: IENCA, M.; ANDORNO, R. *Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. Life Sciences, Society and Policy*, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 1-27, 2017; LIGHART, S. et al. *Minding Rights: Mapping Ethical and Legal Foundations of 'Neurorights'*. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics, [s.l.], v. 32, n. 4, p. 461-481, 2023; SARLET, Gabrielle B. S.; SARLET, Ingo W.; WESCHENFELDER, Lucas R. *Por uma gramática dos neurodireitos na perspectiva de uma efetiva proteção da pessoa humana no Brasil em face da complexidade, dos impactos e das externalidades negativas do emprego das neurotecnologias*. In: PINTARELLI, Camila; PIOVESAN, Flávia; ABBOUD, Georges (Org.). *Constitucionalismo digital e direitos humanos: desafios da internet, inteligência artificial e neurotecnologia*. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2024. p. 389-418.

mudanças de interpretação jurídica para lidarmos com as neurotecnologias. Apesar do pouco prestígio atual, sustenta-se a ideia de que o direito vigente tal como interpretado é bastante para enfrentar os desafios suscitados pelas neurotecnologias (Lighthart et al., 2023, p. 5).

O presente estudo não tem por objeto a análise dos neurodireitos, mas sim as repercussões das neurotecnologias de acordo com o regime de proteção de dados pessoais previsto na Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Muito embora o escopo deste Radar Tecnológico se volte para a interpretação e aplicação da Lei n. 13.709/2018 ao contexto das neurotecnologias, não há qualquer tomada de posição da Autoridade Nacional de Proteção de Dados (ANPD) a respeito das correntes de pensamento acima descritas. Uma vez que neurotecnologias fundamentalmente são ancoradas no tratamento de dados neurais, o objetivo geral deste estudo é compreender o panorama das neurotecnologias e as respectivas implicações para a proteção de dados pessoais no horizonte brasileiro.

Outra delimitação metodológica digna de nota é que o estudo não se propõe a realizar análise aprofundada de conceitos discutidos por diferentes áreas do conhecimento, tais como consciência, subconsciência, identidade pessoal, etc. Apesar de serem assuntos de alta relevância para o conhecimento sobre as tecnologias emergentes com capacidades de interação com o cérebro humano, não estão compreendidos no escopo do presente radar tecnológico.

Além da atualidade e relevância científica da referida tecnologia emergente, o presente estudo se justifica na atuação de outras autoridades e instituições de proteção de dados mundo afora: *Information Commissioner's Office – ICO* (2023); *European Data Protection Supervisor – EDPS* (2024); *Agencia Española de Protección de Datos – AEPD* (2024); *Red Iberoamericana de Protección de Datos – RIPD* (2023); e *Global Privacy Assembly – GPA* (2024).

Conceitos principais

Enquanto nova fronteira tecnológica e do conhecimento humano, a neurotecnologia nasce da interseção de várias disciplinas, incluindo neurociência, química, bioengenharia, ciência da computação, ciência dos materiais e tecnologia médica (UNESCO, 2023). Diante da novidade e complexidade do tema, se faz necessário elucidar dois conceitos cuja compreensão é imprescindível para o presente estudo sobre as neurotecnologias à luz da proteção de dados pessoais, quais sejam: neurotecnologias e dados neurais.

Neurotecnologias

A OCDE (2019, p. 6, tradução nossa) define como neurotecnologias os “[...] dispositivos e procedimentos usados para acessar, monitorar, investigar, avaliar, manipular e/ou emular a estrutura e função dos sistemas neurais de pessoas naturais”. A mesma conceituação é adotada pelo Comitê Internacional de Bioética da UNESCO (2022, p. 13), o qual incorpora em sua definição de neurotecnologias as ações dos dispositivos e procedimentos nos sistemas neurais de animais.

Neurotecnologias se referem a uma gama de métodos e ferramentas de interação com o cérebro e com o sistema nervoso, podendo essa interação ocorrer de forma passiva, para monitorar a atividade cerebral, ou ativa, para a alterar (Andorno, 2023, p. 12). Por sua vez, o ICO (2023, p. 8, tradução nossa) conceitua neurotecnologias como os “[...] dispositivos e procedimentos de consumo, empresariais e de saúde, tanto invasivos quanto não invasivos, que registram e processam diretamente neurodados com a finalidade de coletar dados, controlar interfaces ou dispositivos, ou modular a atividade neural”.

A ONU (2024, p. 2, tradução nossa), por meio de relatório do Comitê Consultivo do Conselho de Direitos Humanos, destaca que “o termo ‘neurotecnologias’ abrange uma série de dispositivos e sistemas que interagem com o sistema nervoso central por meios elétricos, magnéticos, optogenético² e outros meios”. Tais dispositivos podem auxiliar no entendimento do funcionamento do cérebro, ou ainda podem

² A optogenética faz uso de engenharia genética para tornar os tecidos biológicos sensíveis à luz (Krueger et al., 2012).

intervir nos processos do sistema nervoso visando recuperar funções ou aprimorar capacidades (ONU, 2024, p. 2).

Já para Bertoni e Ienca (2024, p. 2), neurotecnologia deve ser entendida como um conceito amplo que abrange dispositivos, ferramentas, sistemas e algoritmos voltados para a compreensão, influência, acesso, monitoramento, avaliação, emulação, simulação ou modulação da estrutura, atividade e funcionamento dos sistemas nervosos de seres humanos e outros animais. Essa definição, confrontada com as demais acima, apresenta maior especificidade e cobertura quanto ao propósito do uso das neurotecnologias, bem como incorpora os algoritmos como parte integrante do espectro das neurotecnologias.

As neurotecnologias permitem o estabelecimento de uma conexão direta entre cérebro e dispositivos externos a ele, e isso lhes atribui uma singularidade que exige atenção às repercussões ético-jurídicas, uma vez que esse tipo de conexão pode permitir intervenções nas atividades cerebrais (ONU, 2024, p. 2). A ONU (2024, p. 2-3, tradução nossa) justifica essas especificidades com base no que usualmente as neurotecnologias propiciam, haja vista que elas:

[...] (a) permitem a exposição de processos cognitivos; (b) permitem a alteração direta dos processos mentais e pensamentos de uma pessoa; (c) ignoram o controle ou a percepção consciente do indivíduo; (d) permitem o acesso externo não consentido a pensamentos, emoções e estados mentais; (e) são alimentados por “neurodados”, que são necessários para seu próprio funcionamento, calibração e otimização; e (f) coletam, analisam e processam grandes conjuntos de dados pessoais de natureza altamente sensível.

Dois tipos de ferramentas técnicas são compreendidos nas neurotecnologias: as que mensuram e examinam sinais químicos e elétricos do cérebro ou dos nervos dos membros; e as que interagem com o sistema nervoso (UNESCO, 2022, p. 13). As ferramentas técnicas de mensuração e análise, segundo a UNESCO (2022, p. 13, tradução nossa), “[...] podem ser usadas para identificar as propriedades da atividade do sistema nervoso, entender como o cérebro funciona, diagnosticar condições patológicas ou controlar dispositivos externos (neuropróteses, ‘interfaces cérebro-máquina’) [...]. Já as ferramentas

técnicas de interação com o sistema nervoso para alteração de atividade podem ser utilizadas para recuperar a entrada sensorial, como por exemplo as que têm por objetivo restaurar a audição ou interromper tremores (UNESCO, 2022, p. 13).

Visando a melhora da condição de saúde e bem-estar de indivíduos, as neurotecnologias e seus dispositivos podem substituir alguma parte do corpo bem como estimular ou inibir o funcionamento da atividade cerebral (UNESCO, 2022, p. 19). Um dos tipos de neurotecnologias destacado pela UNESCO (2022, p. 20) são as interfaces cérebro-computador, que visam traduzir a atividade cerebral em um resultado esperado, como mover uma prótese ou melhorar o humor de um indivíduo depressivo. Nesse sentido, “os neurodispositivos incorporam dados sobre o estado anormal a ser corrigido bem como dados sobre o estado de normalidade a ser obtido [...]” (UNESCO, 2022, p. 34, tradução nossa). O balizador do estado de normalidade é a atividade observada em cérebros saudáveis (UNESCO, 2022, p. 34).

A ONU (2024, p.3) define a interface cérebro-computador como uma categoria emergente de neurotecnologias, em que os dispositivos e métodos são conectados diretamente ao cérebro, permitindo uma comunicação entre o cérebro e os dispositivos. Nessa categoria, a atividade neural é coletada por meio de dispositivo de gravação e decodificada, visando a obtenção de informações do indivíduo, que são utilizadas para controlar dispositivos externos, estabelecendo-se nesse processo uma interação em circuito fechado (ONU, 2024, p. 3).

As neurotecnologias, segundo o ICO (2023, p. 10), podem ser invasivas, semi-invasivas ou não invasivas. As invasivas são as implantadas por intervenção cirúrgica, permitindo contato direto com o cérebro e fornecendo informações precisas do padrão cerebral (ICO, 2023, p. 10). As neurotecnologias semi-invasivas são as que focam na inserção dos dispositivos nas membranas da meninge (ICO, 2023, p. 10). Já as não invasivas podem ser colocadas dentro ou fora do corpo, coletando dados menos detalhados e possibilitando inferências menos complexas a partir desses dados, segundo o ICO (2023, p. 10). Apesar de serem considerados como não invasivos, esses dispositivos podem interagir com o cérebro de forma bastante direta (ICO, 2023, p. 10).

Vale ressaltar que esta classificação não é consensual. O EDPS e a AEPD (2024, p. 2), por exemplo, consideram também como invasivos os dispositivos implantados próximos ao cérebro. Quanto às tecnologias não invasivas, entendem que esta categoria abrange apenas as neurotecnologias que são colocadas fora do corpo. Na área médica, a distinção entre as neurotecnologias se dá pela característica dessas tecnologias serem invasivas ou não (ONU, 2024, p. 3). As invasivas têm maior precisão e potência, mas também implicam em maior risco, uma vez que requerem intervenção cirúrgica para introdução de dispositivos (ONU, 2024, p. 3). As não invasivas, por sua vez, são utilizadas de forma externa, sem a necessidade de penetração no corpo, como são os casos dos capacetes, pulseiras e fones (ONU, 2024, p. 3).

Sobre isso, o EDPS e a AEPD (2024, p. 2) mencionam que a forma de construção e interação das neurotecnologias com o sistema nervoso determina seus subcampos. A construção dessas tecnologias diz respeito às características de serem invasivas ou não. Já a interação refere-se ao registro ou manipulação da atividade cerebral. O registro da atividade cerebral pode ser realizado por tecnologias como a EEG ou a fMRI, ao passo que a manipulação da atividade cerebral pode se dar a partir da modulação dessa atividade, gerando efeitos a curto prazo, como no uso de neuroestimulação³, ou a longo prazo, como ocorre no uso da neuromodulação⁴ (EDPS; AEPD, 2024, p. 3). A fim de melhor sistematizar as formas de classificação das neurotecnologias, apresentamos o Quadro 1.

Outra forma de classificar as neurotecnologias é distinguir entre as que registram e analisam dados do sistema nervoso e as que estimulam e modulam padrões neurais, podendo as tecnologias invasivas e não invasivas serem consideradas como dispositivos de leitura, ou dispositivos de leitura e escrita (ICO, 2023, p. 10). Os dispositivos como a EEG ou a fMRI são considerados pelo ICO (2023, p.10) como dispositivos de leitura, enquanto as ferramentas de neuroestimulação e neuromodulação são considerados como dispositivos de leitura e escrita. A autoridade de proteção de dados britânica alerta que “a capacidade de modular a atividade cerebral pode ser aplicada tanto às tecnologias invasivas quanto não invasivas e pode aumentar significativamente o risco de tratamento de informações pessoais [...]”

3 A neuroestimulação, ou estimulação elétrica, é a “[...] administração direta de pulsos elétricos ao tecido nervoso para modular um substrato patológico e obter um efeito terapêutico [...]” (Boon et al., 2007, p. 1551, tradução nossa). É um tratamento amplamente utilizado para transtornos neuropsiquiátricos (Vonk; Herdt; Sprengers; Ben-Menachem, 2012, p. 955).

4 A neuromodulação modifica a função neurológica por meio da utilização de estímulos elétricos, magnéticos ou químicos (farmacológicos) a alvos específicos (North et al., 2022, p.1054). A tecnologia consiste na aplicação de eletrodos no cérebro, medula espinhal e nervos periféricos, de forma que os dispositivos conectados ao gerador de energia levam uma corrente de baixa voltagem ao nervo, a fim de inibir sinais de dor ou estimular impulsos neurais onde não existiam (International Neuromodulation Society, 2023). Apesar de comumente ser associada ao alívio da dor crônica, a neuromodulação possui um amplo escopo terapêutico, e pode ser aplicada, por exemplo, para o tratamento de distúrbios do movimento, epilepsia e transtornos psiquiátricos (International Neuromodulation Society, 2021, 2023).

(ICO, 2023, p. 10, tradução nossa). Os riscos envolvendo as neurotecnologias e o tratamento de dados pessoais serão aprofundados na Seção NeurotecnoLOGIAS e a proteção de dados pessoais.

Quadro 1 Classificação das neurotecnologias

Critério	Categoria	Aplicação	Exemplos
Interação	Passiva	Registro da atividade cerebral	EEG e fMRI
	Ativa	Manipulação da atividade cerebral	Estimulação Magnética Transcraniana e Estimulação Cerebral Profunda
Construção/Localização do receptor	Invasiva	Envolve intervenção física no corpo humano	Implantes cerebrais e Implantes cocleares
	Semi Invasiva	Colocação dos dispositivos nas membranas da meninge	Eletrodo esfenoidal
	Não Invasiva	Não requer intervenção direta no corpo humano	EEG e Estimulação Magnética Transcraniana

Fonte: Adaptado de ICO (2023) e EDPS e AEPD (2024).

Dados neurais

A ação das neurotecnologias para melhora do estado de saúde ou para o aprimoramento de capacidades implica no tratamento de dados do cérebro e do sistema nervoso dos indivíduos. Como será visto adiante, não há uniformidade na nomenclatura que designa esses dados, que são denominados entre estudiosos e instituições internacionais como dados cerebrais pessoais, dados neurais ou neurodados.

Os dados cerebrais pessoais, para a OCDE (2019, p.6, tradução nossa), são os “[...] dados relacionados ao funcionamento ou estrutura do cérebro humano de um indivíduo identificado ou identificável que inclui informações únicas sobre sua fisiologia, saúde ou estados mentais”. Neurodados, para o ICO (2023, p. 8, tradução nossa) são “dados de primeira ordem coletados diretamente dos sistemas neurais de uma pessoa (incluindo o cérebro e os sistemas nervosos) e inferências de segunda ordem baseadas diretamente nesses dados”.

O EDPS e a AEPD (2024, p.4, tradução nossa) definem neurodados, por sua vez, “[...] como as informações coletadas do cérebro e/ou do sistema nervoso”. As inferências obtidas a partir desses dados também são consideradas pelo EDPS e pela AEPD (2024, p.4) como neurodados.

A coleta desse tipo de dado pode ser realizada de forma passiva, quando não é necessário que o indivíduo realize algum tipo de atividade para ocorrer o tratamento, e ativa, quando as neurotecnologias coletam os dados durante a realização de uma atividade específica do indivíduo (EDPS; AEPD, 2024, p.3). Quanto ao conteúdo, os neurodados podem versar sobre a estrutura, função e atividade do cérebro, bem como sobre o sistema nervoso periférico (EDPS; AEPD, 2024, p.5-6).

Bertoni e lenca (2024, p.2) designam como dados neurais os coletados por interfaces neurais. Os autores destacam que os dados neurais são de natureza quantitativa e tratam da composição, atividade e função dos sistemas nervosos de organismos vivos. Acrescentam, ainda, que esses dados possuem uma natureza dinâmica e estão sujeitos a modificações constantes devido à neuroplasticidade⁵ própria do cérebro (Bertoni; lenca, 2024, p. 6).

5 *Neuroplasticidade* significa, de forma geral, a modificabilidade do cérebro (Innocenti, 2022).

Importante destacar que, no contexto da atividade de tratamento de dados, os dados neurais podem ser combinados com outros dados (não neurais) para auxiliar na compreensão de estados e processos mentais⁶ do ser humano (Bertoni; lenca, 2024, 5-6; lenca; Malgieri, 2022, p. 3-4). A fenotipagem digital (*digital phenotyping*)⁷ ilustra a possibilidade de integração entre dados neurais e não neurais para inferir informações e conhecimento sobre estados mentais — como variações cognitivas úteis ao diagnóstico e tratamento de transtornos como a esquizofrenia. Trata-se de um campo de pesquisa que utiliza dados obtidos a partir do uso cotidiano de dispositivos digitais (por exemplo, padrões de digitação e rolagem de tela, voz e sons ambientes) para medir ou oferecer proxies relevantes de comportamento e funções humanas (Huckvale; Venkatesh; Christensen, 2019), incluindo funções neurocognitivas. Além disso, sistemas de inteligência artificial e técnicas de aprendizado de máquina têm sido aplicados, tanto na fenotipagem digital (Huckvale; Venkatesh; Christensen, 2019; Jean; Guay Hottin; Orban, 2025), quanto em abordagens voltadas ao reconhecimento de estados afetivos ou emocionais, por meio do tratamento de dados como expressões faciais, voz e fala, e até rastreamento de movimento das pálpebras e do olhar (Khare et al., 2024; Li; Xu; Feng, 2021; Skaramagkas et al., 2023).

Nesse sentido, os dados neurais contribuem para a geração do que lenca e Malgieri (2022, p. 4) denominam dados mentais, definidos como “[...] quaisquer dados que possam ser organizados e processados para inferir os estados mentais de uma pessoa, incluindo seus estados cognitivos, afetivos e de consciência” (lenca; Malgieri, 2022, p. 4, tradução nossa). Como demonstrado, tanto dados neurais quanto dados não neurais podem ser utilizados para inferir estados e processos mentais (lenca; Malgieri, 2022, p. 7). Por outro lado, também é possível extraír, a partir dos dados neurais, informações sobre a estrutura e o funcionamento do cérebro que não revelam, necessariamente, referidos aspectos mentais. Por essa razão, conforme apontam os autores (lenca; Malgieri, 2022, p. 7), dados mentais não são, necessariamente, dados neurais, sendo o inverso também verdadeiro⁸.

A partir dessa breve revisão sobre os conceitos de neurotecnologia e dados neurais, entendemos que neurotecnologias podem ser definidas como o conjunto de dispositivos e métodos que interagem com o

6 Estados mentais são qualquer conglomerado de representações mentais e atitudes proposicionais que correspondem à experiência de pensar, lembrar, planejar, perceber e sentir (lenca; Malgieri, 2022, p. 4). De forma mais didática, Oosterwijk et al. (2012, p. 10) leciona que a mente humana consiste em uma variedade de estados mentais sucessivos ao longo da vida, que são comumente entendidos como emoções (p. ex., medo, nojo, amor), cognições (p. ex., recuperar uma memória, planejar o futuro, concentrar-se em uma tarefa), percepções (p. ex., percepção facial, percepção de cores, percepção de sons), entre outros.

7 Conforme Huckvale, Venkatesh e Christensen (2019, p. 1, tradução nossa), “fenotipagem digital (ou sensoriamento pessoal) é a quantificação *in situ*, momento a momento, do fenótipo humano em nível individual usando dados de dispositivos digitais pessoais. Ela busca explorar o potencial dos dados que são gerados e agregados automaticamente por smartphones, wearables e outros dispositivos conectados para medir (ou oferecer proxies robustos para) o comportamento e a função humana, tanto na saúde quanto na doença. Atualmente, esses fluxos de dados incluem medições de sensores, registros de atividades e conteúdo gerado pelo usuário”.

cérebro e sistemas nervosos de humanos e animais, visando acessar, registrar, processar, avaliar, monitorar, simular ou modular a atividade e funções desses sistemas. Essas formas de interação, que podem ser invasivas ou não, ocorrem pela captura e processamento de dados neurais. Apesar das diferentes nomenclaturas que designam os dados capturados e processados por neurotecnologias, optamos pelo termo “dados neurais” pela composição análoga a outros tipos de dados, como os dados biométricos e os dados sintéticos. Nesse sentido, definimos dados neurais como os dados coletados do cérebro e os relativos à composição, atividade e funcionamento do sistema nervoso humano e as inferências obtidas a partir desses dados.

8 O conceito de dados mentais se aproxima da noção de dados biométricos cognitivos, defendida por Magee, Ienca e Farahany (2024), e complementada pela UNESCO (2024), tal como será visto na Seção Dados neurais são dados pessoais?

Aplicações e potenciais usos das neurotecnologias

As neurotecnologias possuem diversas aplicações e suas possibilidades de uso estão em constante expansão. Por exemplo, capacidades cognitivas, sensoriais e motoras de pacientes com distúrbios neurológicos podem ser melhoradas a partir do uso dessas tecnologias, as quais também podem ser utilizadas por indivíduos saudáveis com o objetivo de aprimorar suas capacidades corporais ou cognitivas (UNESCO, 2022, p.15). No campo da educação infantil, em países como a China, já se faz uso de neurotecnologias para medir o desempenho de alunos e alunas. Em Jinhua Xiaoshun, os estudantes usam um dispositivo colocado na cabeça que mede os sinais elétricos dos neurônios e os traduz em uma pontuação de atenção usando um sistema algorítmico. Quanto mais concentrado o estudante estiver, maior será a pontuação (Wang; Hong; Tai, 2019).

A utilização de neurotecnologias no setor médico contempla a adoção de tecnologias tanto do tipo invasiva como do tipo não invasiva. São exemplos de técnicas e dispositivos médicos invasivos indicados na literatura: (i) estimulação direta no cérebro usada para o tratamento de doenças do sistema nervoso, como a epilepsia; (ii) neuropróteses, como implantes de retina ou implantes de espinha dorsal (ICO, 2023, p.12); (iii) implantes cocleares; (iv) estimuladores cerebrais profundos que podem ajudar pessoas com doença de Parkinson; (v) implantes cerebrais que ajudam pessoas sem partes do corpo ou com membros danificados a sentir sensação de calor ou frio por meio de suas próteses; (v) chips cerebrais para indivíduos com Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA) que lhes permitem comunicar-se fluentemente, bem como escrever e enviar e-mails (Yuste; Genser; Herrmann, 2021, p. 156).

Neurotecnologias para comunicação assistiva, como as necessárias para tradução da fala e a neuromodulação para tratamento de pessoas que lidam com vício ou que possuem necessidades psicológicas complexas, também são exemplos de seu uso na área da saúde (ICO, 2023, p.13).

Para além do setor médico, os dispositivos neurais vestíveis, que podem ser comercializados como monitores de bem-estar e condicionamento físico, são um tipo de neurotecnologia não invasiva que pode permitir a extração de percepções da saúde das pessoas que os utilizam, mesmo não tendo inicialmente essa função (ICO, 2023).

Avaliação de 30 empresas que disponibilizam produtos no mercado de consumo (dos Estados Unidos da América, notadamente) evidenciou que os produtos analisados utilizam tecnologias originalmente aplicadas na área médica para o tratamento de dados por imagens gráficas de EEG, infravermelho (fNIRS⁹) e estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS¹⁰). Esses produtos se destinam ao bem-estar, lazer/entretenimento e pesquisa. Em relação aos produtos cuja oferta visa a promoção de bem-estar, encontram-se aplicações para melhoria da qualidade do sono, relaxamento e foco, combate a sintomas da depressão e melhoria da saúde mental, redução do estresse, progresso do desempenho do trabalho e maximização das funções cognitivas (Genser; Damianos; Yuste, 2024, p. 23-29).

O EDPS e a AEPD (2024) definem três categorias para os tratamentos de dados neurais, baseando-se na finalidade a que se destinam. Nesse sentido, considera-se: (i) o tratamento que visa fornecer informações diretas ou previsões sobre a saúde ou aptidão das pessoas e sobre processos psicológicos básicos; (ii) o tratamento que possibilita controlar uma aplicação ou equipamento; (iii) e o tratamento que possibilita estimular ou modular uma pessoa, obtendo-se nesse processo uma neurorretroalimentação (EDPS; AEPD, 2024, p. 6-8).

Tem-se como exemplos de domínios de aplicação do tratamento de dados que visa fornecer informações diretas ou previsões sobre a saúde ou aptidão das pessoas e sobre processos psicológicos básicos: (i) a área médica, para se compreender o cérebro e o sistema neural; (ii) a educação, para a melhoria de desempenho e aprendizagem; (iii) o entretenimento, para o aumento da satisfação na utilização de equipamentos de lazer e entretenimento; (iv) a economia e o *marketing*, para compreender e antecipar comportamentos dos consumidores; (v) o local de trabalho, visando monitorar trabalhadores para compreender e aprimorar seus desempenhos, bem como para auxiliar no

9 A Functional Near Infrared Spectroscopy (fNIRS) é uma técnica de neuroimagem não invasiva que utiliza luz infravermelha próxima para medir a atividade cerebral.

10 A Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (tDCS) é uma técnica não invasiva de estimulação cerebral que utiliza uma corrente elétrica de baixa intensidade para modular a atividade neuronal.

recrutamento e promoção; (vi) a segurança e vigilância, para o monitoramento com vistas a evitar acidentes ou crimes (EDPS; AEPD, 2024, p. 6-7). Nesse contexto, a inteligência artificial tem sido utilizada para a compreensão de padrões que permitam traduzir a atividade cerebral (EDPS; AEPD, 2024, p. 6).

Já no escopo do tratamento que possibilita controlar um aplicativo ou equipamento, tem-se como domínios de aplicação: (i) próteses, implantes ou outros tipos de assistência, para auxílio em condições de saúde e em atividades diárias; (ii) jogos e realidade virtual, para o controle de videogames e softwares; (iii) robótica, para controle de equipamentos ou aplicações que não utilizem o controle das mãos; (iv) e defesa, para o controle de armas, veículos e drones (EDPS; AEPD, 2024, p. 7-8).

Na categoria do tratamento que possibilita estimular ou modular uma pessoa, obtendo-se nesse processo a neurorretroalimentação, o EDPS e a AEPD (2024, p. 8) apresentam como domínios de aplicação: i) a psicologia, que utiliza o tratamento de dados neurais para alterar a forma pela qual o cérebro reage a estímulos, monitorando sua atividade e obtendo retroalimentação; (ii) e o aprimoramento neural, que busca a melhora de capacidades cognitivas e afetivas de pessoas saudáveis.

A inteligência artificial e o aprendizado de máquina ampliam o uso das neurotecnologias, atuando no processamento e análise de conjuntos de dados neurais (ONU, 2024, p. 3). Em concordância, o EDPS e a AEPD (2024, p. 14) apontam que a inteligência artificial pode proporcionar um aumento significativo nas compreensões extraídas dos dados neurais em conjunto com outros dados (não neurais).

Ao mesmo tempo que o desenvolvimento de neurotecnologias traz consigo avanços significativos para a melhora de condições de saúde de indivíduos, novos desafios são impostos, em especial no que diz respeito à proteção de dados pessoais.

‹ Neurotecnologias e a proteção de dados pessoais ›

Havendo delimitado os contornos das noções de neurotecnologias e dados neurais, e apresentado o panorama das aplicações e potenciais usos dessas tecnologias emergentes, cumpre analisar tanto os conceitos como suas aplicações sob a perspectiva da proteção de dados pessoais, considerando especialmente o regime jurídico previsto na LGPD. Esta análise não busca esgotar o tema, mas oferece uma primeira abordagem para verificar a aplicação das normas gerais da LGPD ao tratamento de dados neurais e suas principais repercussões.

Dados neurais são dados pessoais?

Na LGPD, bem como no sistema jurídico brasileiro, não há definição legal de dado neural¹¹. Já nos Estados Unidos, alguns estados como Califórnia e Colorado¹² possuem tratamento legal específico sobre o tema. Todavia, ainda que não haja disposição legal expressa a respeito, não se pode afirmar que a normativa de proteção de dados no Brasil não incide sobre o tratamento de dados neurais.

Ponto de partida fundamental do âmbito material da LGPD e, por consequência, da aplicação do seu regime jurídico, é o de que dado pessoal seja objeto da atividade de tratamento. Isto é, sem que haja a qualificação do dado objeto de tratamento como dado pessoal, a lei brasileira de proteção de dados não se aplica. Por isso, o conceito de dado pessoal define os limites da aplicação da legislação de proteção de dados (Machado, 2023, p. 24; Bygrave; Tosoni, 2020, p. 105). Surge, assim, a primeira questão relevante para a análise das neurotecnologias sob o prisma da proteção de dados pessoais: os dados neurais tratados por essas tecnologias emergentes são dados pessoais à luz do art. 5º, I, da LGPD?

Nos termos da lei, dado pessoal é “informação relacionada a pessoa natural identificada ou identificável” (art. 5º, I, da LGPD). De acordo com a concepção ampla adotada no sistema brasileiro (ANPD, 2023a; ANPD,

11 Há uma série de propostas legislativas tramitando no Congresso Nacional para tratar do tema. Alguns exemplos que podem ser mencionados são: (i) Projeto de Lei nº 1229/2021 de reforma da LGPD, que além de propor definição de dado neural, apresenta regramento específico ao tratamento de dados neurais; (ii) Projeto de Lei nº 522/2022, que pretende alterar o art. 11 da LGPD para introduzir parágrafo com a noção de dados neurais; (iii) Projeto de Lei nº 2174/2023, que dispõe sobre “princípios para proteção dos direitos fundamentais relacionados ao cérebro e ao sistema nervoso humano, objetivando garantir a proteção e promoção dos neurodireitos dos indivíduos”; e (iv) o Anteprojeto de Reforma do Código Civil apresentado ao Senado Federal, que dispõe, no capítulo de “Direito Civil Digital”, sobre a privacidade mental e sobre “dados cerebrais”.

12 O California Privacy Rights Act, de 2020, e o Colorado Privacy Act, de 2021, foram recentemente alterados para incluir disposições sobre dados neurais e neurotecnologias.

2024), comprehende-se no conceito de dado pessoal não somente aqueles dados que individualizam determinada pessoa natural (p. ex., nome e CPF), mas também aqueles que, com esforços e meios razoavelmente disponíveis, são capazes de identificar alguém com o uso de dados auxiliares (p. ex., dados publicamente acessíveis na internet). O amplo escopo do conceito, sem dúvidas, abarca os dados neurais (Hallinan *et al.*, 2014, p. 63).

No contexto de tratamento de dados neurais, a identificação precisa da pessoa natural (“pessoa natural identificada”) pode se dar tanto pelo próprio titular – no âmbito de jogos de realidade virtual, por exemplo, os dados neurais objeto de tratamento ficam vinculados aos dados cadastrais fornecidos pelo próprio jogador¹³ – como pelo agente de tratamento – a exemplo da realização de exame médico diagnóstico (EDPS; AEPD, 2024, p. 4). Além disso, há situações em que, apesar de não individualizada a pessoa natural com exatidão, existe relevante potencial de identificação, ou seja, a pessoa natural é identificável. De acordo com o Comitê Internacional de Bioética da UNESCO, anonimizar dados neurais pode ser uma tarefa por demais complexa, pois “um grande conjunto de evidências indica que um sinal de dados não pode ser separado da identidade que produziu esse sinal” (UNESCO, 2022, p. 26, tradução nossa). De fato, pesquisas demonstram a possibilidade de reidentificar indivíduos e prever estados emocionais e comportamentos futuros por meio de dados neurais, como medições eletrofisiológicas, neuroimagem e atividade neural (lenca *et al.*, 2022, p. 6; Schwarz *et al.*, 2019).

Avanços na neurociência – mais especificamente no campo da conectômica cerebral¹⁴ – apontam para a possibilidade do uso de dados neurais para distinguir (*single out*) alguém a partir das “impressões digitais do cérebro”. Este conceito foi proposto em 2015 por Finn e outros em pesquisa sobre o conectoma funcional¹⁵. No estudo, os pesquisadores demonstraram que o procedimento de identificação a partir de interações neuronais funcionais pode ser conduzido com alto percentual de sucesso (Finn *et al.*, 2015). Assim, fundada é a afirmação de que “[o] perfil de conectividade funcional do cérebro de um indivíduo é único e confiável, semelhante a uma impressão digital, e é possível, com precisão quase perfeita em muitos casos, identificar um indivíduo

13 Ainda que a autoidentificação seja seguida de atos do agente de tratamento para assegurar a idade, por exemplo, não há uma descaracterização da identificação por ato próprio.

14 “O termo ‘conectômica’ define um novo campo da neurociência que visa mapear as redes estruturais e funcionais pelas quais o cérebro está interligado, empregando técnicas de aquisição de imagens em cortes e caracterizando as propriedades dessas redes usando abordagens teóricas gráficas” (Cocchi; Zalesky; Fontenelle, 2012, p. 131).

15 Conectoma é definido como “uma descrição estrutural abrangente da rede de elementos e conexões que formam o cérebro humano” (Sporns; Tononi; Kötter, 2005, p. 245, tradução nossa). De acordo com Sporns (2011, p. 110, tradução nossa), o conectoma humano deve ser compreendido em termos de conectividade estrutural e funcional: “[...] o conectoma trata principalmente da estrutura, do conjunto extenso, mas finito, de ligações físicas entre elementos neurais. A realidade física da conectividade estrutural proporciona um ponto importante de convergência metodológica – diferentes métodos empíricos para mapear as conexões estruturais devem, por fim, fornecer uma descrição anatômica consistente.”

em um grande grupo de indivíduos apenas com base em seu perfil de conectividade” (Van de Ville *et al.*, 2021, p. 1, tradução nossa). Outras abordagens também indicam que dados neurais de eletroencefalograma são capazes de identificar unicamente alguém (Yang; Deravi, 2017).

Importa também salientar que além de dados neurais serem considerados dados pessoais – sejam eles fornecidos ou observados¹⁶ – eles também são dados a partir dos quais se inferem¹⁷ outras informações de natureza pessoal. Isso significa dizer que os estados mentais e condições neurofisiológicas inferidas do processamento de dados sobre a estrutura ou funcionamento do cérebro são igualmente dados pessoais. Aliás, esses dados inferidos podem ser considerados propriamente como dados neurais de segunda ordem (ICO, 2023, p. 8).

Confirmada a adequação da qualificação dos dados neurais como dados pessoais, outro questionamento relevante a se fazer é: dados neurais podem ser considerados dados pessoais sensíveis? A LGPD define dado pessoal sensível como “dado pessoal sobre origem racial ou étnica, convicção religiosa, opinião política, filiação a sindicato ou a organização de caráter religioso, filosófico ou político, dado referente à saúde ou à vida sexual, dado genético ou biométrico, quando vinculado a uma pessoa natural” (art. 5º, II, da LGPD). Muito embora o texto legal não mencione dados sobre a estrutura e função cerebrais, em diversas situações os dados neurais, no contexto da atividade de tratamento, irão revelar informações sensíveis (EDPS; AEPD, 2024, p. 15; Rainey *et al.*, 2021, p. 145-146).

Considere, por exemplo, o dado referente à saúde. Esse tipo de dado sensível pode ser compreendido como dados pessoais relacionados com a saúde física ou mental de uma pessoa natural, incluindo a prestação de serviços de saúde, que revelem informações sobre o seu estado de saúde (UNIÃO EUROPEIA, 2016; Teffé, 2022). Ademais, entende-se como dado referente à saúde aquele que revele informação sobre a saúde física ou mental do titular no passado, no presente ou no futuro¹⁸. A noção alcança dados neurais que revelam doenças neurológicas (lenca; Malgieri, 2022, p. 9-10) atuais, já ocorridas ou com possibilidade futura, tais como doença de Parkinson (Conti *et al.*, 2022)

15 (continuação) Em comparação, a conectividade funcional, que se desdobra dentro da rede estrutural, é significativamente mais variável ao longo do tempo, refletindo mudanças no estado interno ou respostas neurais a estímulos ou demanda de tarefas”.

16 Dados fornecidos são dados que se originam diretamente de ação, em geral, voluntária e consciente do titular dos dados, enquanto os dados observados configuram dados que são objeto da observação por terceiros e capturados em formato digital (ARTICLE 29 WORKING PARTY, 2016, p. 12; Machado, 2023, p. 16-17).

17 Dados derivados e dados inferidos são dados resultantes de outros dados pessoais ou não pessoais, respectivamente, devido a raciocínio ou operações lógico-matemáticas não probabilísticas, e em razão da aplicação de modelos estatísticos complexos baseados em algoritmos de mineração de dados e sistemas de aprendizado de máquina (Machado, 2023, p. 17; OCDE, 2014, p. 5; Article 29 Working Party, 2018, p. 9).

18 Considerando n. 35 do Regulamento Geral de Proteção de Dados da UE (União Europeia, 2016).

e depressão (Mitra *et al.*, 2023). Como destacam Ienca *et al.* (2022), ainda que sem decodificar informações mentais, novos modelos inferenciais baseados em dados neurais são capazes de fazer inferências sobre a função cerebral atual e futura ou sobre o estado de saúde. Essas inferências e previsões, incluindo sinais precoces de declínio cognitivo, podem ser feitas tanto sobre indivíduos quanto sobre grupos.

Além de dados de saúde, o tratamento de dados neurais pode, ainda, revelar outras informações de natureza sensível. Na literatura especializada encontra-se trabalhos que (i) relacionam a análise de conectividade funcional por meio de fMRI com posicionamento político-ideológico (Yang *et al.*, 2022); e (ii) sustentam a viabilidade do uso de sinais de eletroencefalograma para fins biométricos (Yang; Deravi, 2017). A análise contextual, porém, será sempre necessária, visto que nem sempre dados neurais implicarão a inferência de dados pessoais sensíveis. A título de exemplo, esse provavelmente é o caso de aplicações que tratam dados sobre emoções mediante técnicas não biométricas (Ienca; Malgieri, 2022, p. 10).

Atualmente, existem propostas de mudança legislativa e de entendimento jurídico a fim de que se aplique ao tratamento de dados neurais o regime mais rigoroso e protetivo dos dados sensíveis. No Brasil, o Projeto de Lei nº 522/2022 foi introduzido na Câmara dos Deputados para alterar a LGPD e dar disciplina normativa aos dados neurais, inclusive os considerando dados pessoais sensíveis. De outro lado, no âmbito internacional, a versão preliminar da “Recomendação sobre Ética da Neurotecnologia”, publicada em abril de 2024, além de se referir a dados neurais e dados biométricos cognitivos (*biometric cognitive data*) como especialmente sensíveis (UNESCO, 2024), recomenda que leis em vigor sejam revisitadas para garantir tutela robusta a esses dados. A noção de dados biométricos cognitivos – encampada por Magee, Ienca e Farahany (2024) – compreende dados neurais propriamente ditos e outros dados coletados por tecnologias biométricas ou biossensores que são passíveis de processamento para inferir estados mentais (UNESCO, 2024).

Dados neurais e os princípios de proteção de dados

Dados neurais são dados pessoais e ao seu tratamento mediante neurotecnologias se aplica o regime de proteção de dados pessoais da LGPD. Decorrência disso é a incidência dos princípios de proteção de dados à atividade de tratamento de dados realizada pelo uso dessas tecnologias emergentes. Ainda que aplicáveis, é importante reconhecer que a novidade e os riscos de revelação completa e intervenção na mais íntima fronteira do ser humano – sua mente, pensamentos e identidade – geram desafios a tais normas jurídicas.

a) Princípios da finalidade, adequação e necessidade

O princípio da finalidade estabelece que o tratamento de dados pessoais deverá ser realizado em consonância com propósitos legítimos, explícitos, específicos e informados ao titular quando da operação de tratamento de dados pessoais (art. 6º, I, da LGPD). De forma complementar, o princípio da adequação (art. 6º, II, da LGPD) determina que a licitude da operação de tratamento depende da sua compatibilidade com a(s) finalidade(s) legítima, específica(s) e explicitamente informada(s) ao titular dos dados, levando-se em consideração o contexto em que se realiza o tratamento. Neurotecnologias emergentes criam desafios a ambos os princípios.

De acordo com Lenca et al. (2022, p. 6), “a especificação exata dos propósitos é muito difícil para os dados cerebrais, pois a tecnologia atual não consegue discernir preventivamente os dados de propósitos específicos das miríades de sinais cerebrais”. A dificuldade de especificar as finalidades do tratamento (a coleta, por exemplo) de forma prévia também repercute na avaliação de compatibilidade de usos posteriores e secundários dos dados neurais. Outro desafio advém da possibilidade de neurotecnologias tratarem dados sem que os titulares sequer tenham consciência de tais operações sobre suas atividades cognitivas e sinais neurais (Lenca et al., 2022, p. 6; Rainey et al., 2020, p. 11).

Há, também, ponto de tensão relativamente ao princípio da necessidade. A necessidade do tratamento da informação exige uma

avaliação preliminar direcionada a verificar se o propósito especificado pode ser alcançado com o uso mínimo de dados pessoais ou com métodos capazes de reduzir ou eliminar seus identificadores (ANPD, 2023a, p. 10; ANPD, 2023c, p. 25). Em face da crescente disponibilidade de dados neurais, inclusive para além dos usos médicos e de pesquisa acadêmica, e integração com sistemas de inteligência artificial, a capacidade de avaliação da necessidade do tratamento pode ficar comprometida (EDPS; AEPD, 2024).

b) Princípio da qualidade de dados

A norma visa garantir a exatidão, clareza, atualização e relevância dos dados pessoais de acordo com a necessidade e para o cumprimento da finalidade de seu tratamento (art. 6º, V, da LGPD). Em outras palavras, os agentes de tratamento têm o dever de assegurar que os titulares não sejam representados incorretamente, de modo que os dados objeto de tratamento sejam exatos, atuais e pertinentes ao contexto de tratamento enquanto esta atividade perdurar no tempo.

Para além da possibilidade de neurotecnologias (não invasivas, por exemplo) incorrerem em imprecisões durante o processo de coleta de dados neurais (Hallinan *et al.*, 2014, p. 67), um dos motivos de maior preocupação sobre esses dados em relação ao princípio da qualidade de dados é a neuroplasticidade, ou plasticidade do cérebro (EDPS; AEPD, 2024, p. 16). Pesquisas apontam que a estrutura do cérebro muda ao longo do tempo e que o desenvolvimento e a função do cérebro são influenciados por diferentes eventos ambientais, como estímulos sensoriais, drogas psicoativas, hormônios gonadais, relações paterno-filiais, relações com colegas, estresse precoce, flora intestinal e dieta (Kolb; Mychasiuky; Gibb, 2014). Tais mudanças no cérebro muito provavelmente têm repercussões sobre a atualização e relevância de dados neurais para tratamentos médicos, problema que decerto também pode se estender para eventuais usos comerciais de dados neurais.

Nesse sentido, o EDPS e a AEPD chamam atenção para a discussão em torno da confiabilidade das inferências baseadas em dados neurais, especialmente em relação à forma de tratamento desses dados, que

podem incorrer em problemas de adequação de métodos estatísticos utilizados e de reproduzibilidade dos achados da neurociência (EDPS; AEPD, 2024, p. 17). Além disso, considerando os relevantes limites que podem incidir sobre a acurácia (e a possibilidade) de previsões baseadas em inteligência artificial (Narayanan; Kapoor, 2024, p. 97-98), o cuidado do seu emprego em aplicações de neurotecnologias é crucial, haja vista o risco de ter repercussões significativas na tomada de decisões sobre a saúde e vida de titulares de dados, como é o caso de usos para previsão da idade do cérebro (Heinrichs, 2023).

c) Princípio da transparência

O princípio da transparência garante ao titular a disponibilização de informações claras, precisas e facilmente acessíveis sobre a realização do tratamento de seus próprios dados pessoais e os seus respectivos agentes de tratamento (art. 6º, VI, da LGPD). O conceito se relaciona às informações fornecidas ao titular antes do tratamento se iniciar, às informações que devem ser facilmente acessíveis a eles durante o tratamento, mas também às informações prestadas subsequentemente a um pedido de acesso aos próprios dados (Council of Europe, 2018).

Em razão da coleta e do processamento de dados neurais poderem se dar independentemente da vontade consciente do titular, somada à alta complexidade tanto do funcionamento das tecnologias emergentes como dos próprios dados neurais e informações passíveis de inferência, significativos desafios são impostos ao princípio da transparência (EDPS; AEPD, 2024). Porém, no âmbito das neurotecnologias cada vez mais integradas por sistemas algorítmicos, medidas de transparência são necessárias em diferentes níveis de tratamento de dados neurais:

Nos níveis processuais, as organizações que coletam e usam dados neurais devem fornecer informações claras e acessíveis sobre suas práticas. Isso inclui detalhar como os dados são coletados, armazenados, usados e compartilhados, bem como as finalidades da coleta de dados e os possíveis riscos envolvidos. No nível algorítmico, a transparência envolve a explicação de como os algoritmos processam os dados neurais, incluindo as metodologias e as suposições subjacentes a esses algoritmos. As organizações devem divulgar como os dados neurais são analisados e interpretados, garantindo que os usuários

entendam a lógica e os possíveis vieses dos algoritmos (Bertoni; lenca, 2024, p. 8, tradução nossa).

d) Princípio da não discriminação

Conforme o art. 6º, IX, da LGPD, impõe-se a proibição de realização do tratamento para fins discriminatórios ilícitos ou abusivos. A vedação alcança o tratamento de dados neurais que constitua discriminação antijurídica. Cunhou-se o termo “neurodiscriminação” (lenca; Ignatiadis, 2020, p. 83) para designar a discriminação que “ocorre quando indivíduos ou grupos populacionais são injustamente prejudicados por inferências feitas a partir de dados neurais e/ou vieses em sua coleta e processamento” (Regulatory Horizons Council, 2022, p. 59, tradução nossa).

A combinação de neurotecnologias com abordagens baseadas em inteligência artificial, para além de oportunidades nos âmbitos da pesquisa científica e prática da medicina, suscita riscos de discriminação antijurídica. Tendo em vista os tipos de dados neurais objeto de tratamento, a exemplo da estimativa de estados emocionais, eficiência e envolvimento no ambiente de trabalho ou escolar, e informações sobre saúde mental (ICO, 2023), e os potenciais vieses que, introduzidos na coleta de dados e treinamento de modelos de inteligência artificial, importam em problemas de acurácia (lenca; Ignatiadis, 2020), a adoção de aplicações de neurotecnologias na prática já é e será associada a relevantes riscos de tratamento discriminatório (EDPS; AEPD, 2024).

No setor de seguros, por exemplo, perfis ou neuro-padrões podem ser usados para discriminar pessoas com base em seus sinais neurocognitivos (p. ex., sinais de declínio cognitivo ou de doença neurodegenerativa progressiva) e consequente tomada de decisões sobre a cobertura de seguro ou precificação do prêmio (ICO, 2023, p. 19; Regulatory Horizons Council, 2022, p. 59; ONU, 2024, p. 7). No ambiente de trabalho, empregados podem ser tratados com base na inferência sobre estados mentais e emocionais ou até mesmo em condições físicas ou mentais não conhecidas pelo próprio titular de dados ou não diagnosticadas anteriormente (ICO, 2023, p. 19).

e) Princípio da segurança

A literatura especializada destaca que segurança da informação deve ser, se não a principal, uma das principais preocupações de desenvolvedores de neurotecnologias (lenca; Haselager; Emanuel, 2018). O acesso não autorizado ou o comprometimento da integridade de dados neurais, que estão relacionados à íntima fronteira do pensamento humano e atividades cerebrais, são exemplos de incidentes de segurança que podem resultar em graves consequências e danos a titulares de dados.

Entre os possíveis incidentes documentados por pesquisadores, podemos citar alguns. Ataques de estímulos enganosos (*misleading stimuli attacks*), como ataques subliminares em usuários de interface cérebro-computador baseados em EEG, possibilitam a inferência de dados pessoais de indivíduos a partir da detecção de respostas cerebrais à estimulação subliminar, isto é, sem que as vítimas sequer tenham consciência dessa operação (Frank et al., 2017). Dispositivos neuromoduladores invasivos estão sujeitos ao risco de “sequestro cerebral” (*brainjacking*)¹⁹. Uma vez que o atacante malicioso obtém o controle do dispositivo intracraniano, uma variedade de ataques pode ser realizada de modo a causar diferentes tipos de danos e violações a direitos e interesses juridicamente protegidos dos titulares de dados, notadamente os direitos à privacidade, à proteção de dados pessoais e à saúde (Pycroft et al., 2016; López Bernal et al., 2020).

Dessa maneira, a utilização de medidas técnicas e administrativas aptas a proteger os dados neurais de acessos não autorizados e de situações acidentais ou ilícitas de destruição, perda, alteração, comunicação ou difusão, tal como determina o art. 6º, VII, da LGPD, é imperativo crucial para o desenvolvimento e implementação de neurotecnologias no Brasil. Cumpre salientar que agentes de tratamento devem observar a imposição normativa da proteção de dados desde a concepção (*data protection by design*)²⁰, adotando medidas técnicas – cifragem de dados, privacidade diferencial, entre outras – e administrativas adequadas à segurança dos dados neurais desde a concepção ou fases iniciais do projeto do produto (Yuste, 2023).

19 O termo designa o controle não autorizado de dispositivo eletrônico intracraniano (Pycroft et al., 2016).

20 Art. 46, § 2º, da LGPD.

Hipóteses legais para o tratamento de dados neurais

Uma vez especificada a finalidade para o tratamento dos dados neurais – apesar das dificuldades apontadas acima (Item ‘a’ da Seção Dados neurais e os princípios de proteção de dados) – e sendo esses dados necessários ao cumprimento desse propósito, para que o tratamento de dados neurais seja lícito as operações de tratamento devem estar amparadas em hipóteses normativas apropriadas, em conformidade com o disposto nos arts. 7º e 11 da LGPD. Entre essas hipóteses legais se encontram o consentimento do titular, o cumprimento de obrigação legal ou regulatória pelo controlador, a realização de estudos por órgão de pesquisa, a tutela da saúde, proteção da vida ou da incolumidade física do titular ou de terceiros, entre outras.

Tomando por parâmetro as categorias de tratamento com base no tipo de finalidade (EDPS; AEPD, 2024), tal como descrito na Seção Aplicações e potenciais usos das neurotecnologias, algumas hipóteses legais se mostram mais adequadas aos usos e aplicações de neurotecnologias, quais sejam: (i) consentimento do titular, (ii) realização de estudos por órgão de pesquisa e (iii) tutela da saúde. Duas observações metodológicas, no entanto, devem ser feitas. Em primeiro lugar, não há qualquer pretensão de exaurimento das hipóteses aplicáveis ao tratamento de dados neurais nesta breve análise. Em segundo lugar, apesar de se reconhecer que em diversas situações os dados neurais serão qualificados como dados pessoais sensíveis, não se exclui, em tese, a possibilidade de configurarem dados não sensíveis, conforme argumentado na Seção Dados neurais são dados pessoais?

a) Consentimento do titular (arts. 7º, I, e 11, I, da LGPD)

O consentimento é definido na LGPD como a manifestação livre, informada e inequívoca pela qual o titular concorda com o tratamento de seus dados pessoais para uma finalidade determinada (art. 5º, XII, da LGPD). A adoção desta base legal “pressupõe a possibilidade de um processo de tomada de decisão livre, bem-informado e inequívoco pela pessoa titular do dado pessoal acerca da sua utilização para uma finalidade específica” (ANPD, 2021, p. 21).

O tratamento de dados pessoais no âmbito das neurotecnologias enseja relevantes desafios ao consentimento do titular. Em grande parte, isso decorre da já mencionada complexidade não só dos próprios dados neurais (vide Seção Dados neurais) como também do funcionamento dessas tecnologias emergentes. Como garantir que o ato do titular de dados será praticado de forma livre, informada, específica e inequívoca?

Para que o consentimento seja uma manifestação de vontade livre do titular de dados, o ato deve ser livre de defeitos²¹ como a coação ou a indução a erro a partir de padrões obscuros (*dark patterns*²²) e enganosos (Luguri; Strahilevitz, 2021). O consentimento também pode se tornar inválido por ausência de livre manifestação de vontade quando as circunstâncias indicarem a posição de desvantagem do titular, em especial quando puder sofrer consequências negativas caso não consinta com o tratamento de seus dados (ANPD, 2021). Nesse sentido, o uso da hipótese normativa do consentimento dificilmente será adequado em aplicações de neurotecnologias nos ambientes de trabalho e escolar (ICO, 2023), eis que hierarquizados ou marcados pela assimetria das relações e suscetibilidade a consequências adversas (p. ex., obstáculos a promoções na carreira, atribuições de notas ou conceitos negativos a alunos) em razão da não concordância com a operação de tratamento.

Ademais, o consentimento exigido pelo regime de proteção de dados brasileiro há de ser informado, o que, a um só tempo, corresponde a um direito do titular de dados de ser informado e a um dever de informar do agente de tratamento (Bioni, 2019). Um dos maiores desafios de compatibilização das hipóteses normativas dos arts. 7º, I, e 11, I, da LGPD, com o tratamento de dados efetuado por neurotecnologias está relacionado à capacidade desses artefatos de tratar dados neurais sem que os titulares tenham consciência de tais operações (Ienca *et al.*, 2022; Rainey *et al.*, 2020; UNESCO, 2022), a exemplo do registro e estimulação de sinais e atividade cerebral abaixo do limiar da percepção humana (Bertoni; Ienca, 2024). Tendo em vista que diversas atividades cognitivas ocorrem no subconsciente humano, a criação e fluxo de dados neurais são elusivos ao consciente controle individual. Como compatibilizar, então, a operação de tratamento desses dados com o requisito do prévio consentimento ancorado em adequada informação

²¹ Art. 8º, § 3º, da LGPD.

²² “Os padrões obscuros são interfaces de usuário cujos designers conscientemente confundem os usuários, dificultam a expressão de suas preferências reais ou manipulam os usuários para que realizem determinadas ações” (Lugre; Strahilevitz, 2021, p. 44, tradução nossa).

sobre o conteúdo e propósito da operação de tratamento? Como bem destacam lenca e outros, no que tange aos dados neurais, dissolve-se a separação entre os dados tratados e o sistema (nervoso) com base no qual o titular toma decisões sobre seu tratamento (lenca et al., 2022).

Outro significativo desafio diz respeito à qualidade da informação que deve o titular de dados receber, visto que há de ser adequada à sua compreensão. Para que o consentimento seja efetivamente informado, será necessário superar os obstáculos intrínsecos à complexidade dos dados neurais e do funcionamento das neurotecnologias. Em outras palavras, os agentes de tratamento deverão explicar as operações de tratamento, o funcionamento da tecnologia e seus objetivos de maneira comprehensível ao titular dos dados (EDPS; AEPD, 2024), sejam eles pessoas adultas, crianças, adolescentes, idosos, ou pertencentes a outros grupos vulneráveis. Sem compreender o tratamento que será efetuado e para qual finalidade, não há possibilidade de exercício da autodeterminação informacional.

Deve o consentimento também ser específico²³, seja em relação à finalidade determinada (art. 5º, XII, da LGPD), como em relação aos dados objeto do tratamento (arts. 11, I, e 14, caput, da LGPD). Já se indicou nas considerações sobre o princípio da finalidade a dificuldade atualmente existente quanto à exata especificação dos propósitos de tratamento diante dos inúmeros sinais cerebrais tratados e suas nuances (lenca et al., 2022). Tais observações se estendem à especificidade necessária ao consentimento.

Em síntese, muito embora o consentimento do titular seja, em tese, uma base legal adequada aos usos e aplicações de neurotecnologias, existem vários obstáculos que na prática exigem alto grau de cautela dos agentes de tratamento e empreendimento de esforços significativos para, observada a proteção de dados desde a concepção, atender aos requisitos legais do consentimento válido, inclusive crianças e adolescentes, e outros titulares em situação de vulnerabilidade.

23 Também deve o consentimento do titular ser fornecido de forma destacada, caso o dado neural seja qualificado como dado sensível.

b) Outras hipóteses legais aplicáveis

No sistema jurídico brasileiro, outras hipóteses legais podem dar amparo normativo ao tratamento de dados neurais. Tendo em vista que o desenvolvimento de neurotecnologias nos últimos anos tem se dado notadamente a partir da pesquisa acadêmica e interdisciplinar no campo da neurociência, medicina, ciência da computação entre outras áreas (Vázquez-Guardado, 2020; UNESCO, 2023), a previsão normativa do art. 7º, IV, e do art. 11, II, “c”, da LGPD, é de crucial importância no cenário nacional. Essas hipóteses legais conferem legitimidade ao tratamento de dados neurais para a realização de estudos e pesquisas acadêmicas (ANPD, 2023), aplicáveis tanto em situações em que os dados neurais consistirem em dados não sensíveis, como naquelas situações em que configurarem, de fato, dados pessoais sensíveis.

É importante salientar que o regime jurídico especial de tratamento de dados pessoais para fins exclusivamente acadêmicos e para a realização de pesquisa (art. 4º, II, “b” e arts. 7º, IV, e 11, II, “c”, da LGPD) não dispensa observância de outros parâmetros jurídicos relevantes (ANPD, 2023b), a exemplo dos denominados princípios gerais de proteção de dados e dos princípios, diretrizes e regras para a condução de pesquisas com seres humanos por instituições públicas ou privadas no Brasil²⁴. No que tange à realização de pesquisas em neurociência envolvendo seres humanos e com o emprego de neurotecnologias emergentes, a Lei n. 14.874/2024 estabelece relevantes conceitos, como os de dispositivo médico e dispositivo médico experimental²⁵, e regras jurídicas, como a necessidade de obtenção do consentimento livre e esclarecido do participante pesquisa²⁶ (BRASIL, 2024a).

Outras hipóteses normativas pertinentes e adequadas para garantir a licitude do tratamento de dados neurais encontram-se nos arts. 7º, VIII, e 11, II, “f”, da LGPD. Nas situações em que as neurotecnologias forem autorizadas para uso em contexto clínico para diagnóstico e tratamento de doenças, a tutela da saúde servirá de fundamento normativo para legitimar as operações de tratamento de dados neurais realizados por profissionais da saúde.

24 A Resolução n. 466 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), em vigor desde 2012, estabelece normas e diretrizes para pesquisas com seres humanos, impondo, por exemplo, o requisito do consentimento livre e esclarecido do participante ou de seu representante legal.

25 Art.2º, XVII e XVIII, da Lei n. 14.784/2024.

26 Art.3º, VI, da Lei n. 14.784/2024.

Muito embora não haja em abstrato uma incompatibilidade entre o regime de proteção de dados pessoais da LGPD e o tratamento de dados neurais por meio de neurotecnologias com fins comerciais – isto é, para além de propósitos médicos e de pesquisa científica – as possibilidades de tratamento lícito serão mais restritas para os casos em que dados neurais configuram dados sensíveis.

⟨ Neurotecnologias no contexto brasileiro ⟩

Uma vez compreendido o que são neurotecnologias, os dados neurais por elas tratados, e a incidência das normas de proteção de dados pessoais, é essencial mapear o cenário brasileiro de desenvolvimento e uso dessas tecnologias. A partir dessa abordagem será possível dimensionar as repercussões práticas da incidência das normas de proteção de dados pessoais e projetar perspectivas futuras para o contexto brasileiro das neurotecnologias e suas aplicações. Esta seção se destina a justamente mapear o cenário nacional mediante a indicação das aplicações médicas, usos comerciais gerais e o ecossistema de pesquisa e desenvolvimento.

Aplicações médicas

No campo da medicina, a realização da pesquisa clínica²⁷ em seres humanos²⁸ contribui para atestar a eficácia e efetividade do uso das tecnologias. Algumas neurotecnologias podem ser qualificadas como dispositivos médicos. Estes dispositivos são regulamentados pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), desde que destinados para fins de diagnóstico ou tratamento (ANVISA, 2022). Equipamentos de diagnóstico em neurologia são ferramentas essenciais para avaliar e monitorar a saúde do sistema nervoso. Entre os equipamentos utilizados para fins diagnósticos destacam-se o eletroencefalograma, a ressonância magnética e a tomografia computadorizada.

As novas neurotecnologias desenvolvidas são incorporadas ao Sistema Único de Saúde (SUS) após aprovadas em avaliação da tecnologia junto à Comissão Nacional de Incorporação de Tecnologias no Sistema Único de Saúde (CONITEC)²⁹. A CONITEC foi criada em 2011 por inclusão na Lei Orgânica da Saúde (Brasil, 1990). Essas avaliações não envolvem direta análise dos riscos relativos aos direitos à proteção de dados pessoais e à privacidade, mas são imprescindíveis para garantir que

27 Art. 3º, XVII e XXIII, da Lei n. 14.874/2024.

28 Art. 28, da Lei n. 14.874/2024.

29 Art. 19-Q, da Lei n. 8.080/1990.

somente neurotecnologias ancoradas em evidências científicas sobre sua eficácia, acurácia, efetividade e segurança sejam adotadas no SUS.

O Ministério da Saúde instituiu o Programa SUS Digital em 2024. O escopo do programa abrange tecnologias, técnicas e abordagens que podem ser integradas às neurotecnologias existentes, como o registro eletrônico de dados de saúde, ciência de dados, inteligência artificial, telessaúde, aplicações móveis de saúde, dispositivos vestíveis e internet das coisas, integrando as novas tecnologias às políticas públicas de saúde (Brasil, 2024b).

Outro exemplo de aplicação médica de neurotecnologias no Brasil se dá nas cirurgias para implantes de estimulação cerebral profunda, realizadas no país há 40 anos (Rodrigues, 2024). O implante de eletrodo para estimulação cerebral, com vista ao tratamento de pacientes de Parkinson e para tratamento de epilepsias, é realizado pelo SUS. A cirurgia de implante de estimulador cerebral profundo encontra-se prevista para um grupo selecionado de pacientes com doença de Parkinson (Brasil, 2017, p. 8).

Também realizado pelo SUS, o implante coclear é destinado a pacientes com perda de audição. O procedimento “consiste na implantação cirúrgica unilateral de feixe de eletrodos posicionado dentro da cóclea com objetivo de substituir parcialmente as funções da orelha interna (cóclea), transformando os sinais sonoros em sinais elétricos” (Brasil, 2024c). A CONITEC encontrou fortes evidências de benefício do tratamento de perda auditiva com uso dessa neurotecnologia (CONITEC, 2014, p. 2).

Pode-se mencionar, ainda, o desenvolvimento de ferramenta pela empresa Brain4care, que apresenta um dispositivo médico voltado a clínicas e hospitais para monitoramento da pressão intracraniana não invasiva sem fio (BRAIN4CARE, 2025). Trata-se de um sensor, preso por uma faixa na cabeça do paciente, que capta dados neurológicos. Esses dados são processados por um sistema de inteligência artificial, gerando indicadores que sinalizam o risco de aumento da pressão intracraniana (Zimmerman, 2024).

Aplicações comerciais para o mercado de consumo

Atualmente são disponibilizados diretamente para consumidores dispositivos vestíveis que utilizam neurotecnologias. Exemplificamos duas empresas de neurotecnologia brasileiras: a Neurobots Pesquisa e Desenvolvimento LTDA e a Cycor Cibernética S/A.

A Neurobots apresenta dispositivos de neurorretroalimentação para captação da atividade elétrica muscular com potencial uso na reabilitação fisioterápica, desenvolvimento de exoesqueleto de mão para auxílio no tratamento de sequelas motoras neurológicas, plataformas de treinamento de equipes, uso de sinais eletroencefalográficos para neurorretroalimentação com potenciais aplicações em tratamentos de saúde (NEUROBOTS, 2025).

A Cycor, por sua vez, apresenta uma exposição de produtos mais concentrada em relação a Neurobots, com foco em exoesqueletos para utilização em múltiplos cenários como em tratamentos médicos, no aumento da força de trabalhadores em indústrias e em forças de segurança e defesa. Também disponibiliza a placa eletrônica para customização, o que amplia a possibilidade de usos e aplicações para automações por captação de sinais elétricos do cérebro para sua conversão e funcionamento em máquinas e sistemas (CYCOR, 2025).

Além dos produtos nacionais, com o advento da globalização e do comércio eletrônico, os produtos desenvolvidos fora do país podem ser acessados por consumidores brasileiros, seja pela compra direta pelo site do fabricante, sites de importadores especializados ou em marketplaces. Em outras palavras, ainda que não sejam diretamente produzidos no mercado nacional, é possível que dispositivos tecnológicos, inclusive neurotecnologias, tenham como destinatário final consumidor ou titular de dados situado no Brasil.

As aplicações comerciais com neurotecnologias atualmente mais presentes para acesso direto do mercado de consumo utilizam equipamentos de neurorretroalimentação que possuem sensores de EEG que enviam os dados a dispositivos móveis. Estes dados são utilizados em aplicativos de aparelhos celulares para entretenimento,

para auxiliar tratamentos de saúde, para auxiliar a meditação ou para monitoramento do nível de atenção dos alunos (Genser; Damianos; Yuste, 2024).

Ensino, pesquisa e desenvolvimento

As instituições de ensino e pesquisa desempenham um papel fundamental na geração, disseminação e fortalecimento do conhecimento. No cenário brasileiro de neurotecnologias, destacam-se o Instituto de Ensino e Pesquisa Alberto Santos Dumont (ISD), o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Neurotecnologia Responsável (INCT NeuroTec-R), o Brazilian Institute of Neuroscience and Neurotechnology (BRAINN) e o Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI).

O ISD é uma organização social vinculada ao Ministério da Educação (MEC) que atua nas áreas de neurociências e neuroengenharia. É composto pelo Instituto Internacional de Neurociências Edmond e Lily Safra (IIN-ELS) que desenvolve pesquisa sobre interface cérebro-computador e neuromodulação. Outro braço do IIN-ELS é o Programa de Pós-Graduação em Neuroengenharia que opera como centro formador de pesquisadores brasileiros (ISD, 2025).

O INCT NeuroTec-R, sediado na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), é responsável por uma rede internacional de pesquisa de instituições públicas e privadas. O instituto desenvolve projetos de neuromodulação por técnicas não invasivas (Estimulação Transcraniana por Ultrassom Focado - tFUS, Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua - tDCS) em humanos, e por técnicas invasivas (optogenética, fotometria de fibras³⁰) em modelos animais e projetos de neuroimagem com utilização de Espectroscopia Funcional em Infravermelho próximo - fNIRS para estimar atividade cerebral e Tomografia Computadorizada por Emissão de Pósitrons (PET-CT) para avaliar biomarcadores e estrutura cerebral (CTMM, 2019).

Ligado à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), o BRAINN desenvolveu pela primeira vez no Brasil uma pequena sonda neural feita de polímeros, que permite registrar ou estimular zonas cerebrais,

30 A fotometria de fibras é uma técnica que usa uma cânula de fibra óptica para monitorar sinais luminescentes.

possibilitando a realização de pesquisas no país por meio da customização do dispositivo (BRAINN, 2015). Há produtos que estão sendo desenvolvidos e testados dentro do campo da pesquisa com aplicação de neurotecnologias, mas, por se encontrarem em fase experimental, não estão disponíveis no mercado.

Iniciativas de pesquisa e desenvolvimento são fomentadas pelo CTI, unidade de pesquisa do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (Brasil, 2025), que tem dois projetos de cooperação nacional: (i) o projeto de dispositivos de reabilitação e assistência em neurociências e neurotecnologias (DReANNs), desenvolvido junto à UNICAMP; e (ii) o projeto de formação da Rede de Cooperação em neurociência e nanotecnologia para desenvolvimento de pesquisas sobre o cérebro e seus mecanismos, junto com CEPID/BRAINN, UNICAMP, Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e Universidade Federal do ABC (UFABC)/FAPESP (CTI, 2024, p. 29).

O DReANNs visa “[...] desenvolver tecnologias assistivas e de reabilitação voltadas a pessoas com deficiências motoras e cognitivas [...]” (CTI, 2024, p. 29). As linhas de desenvolvimento aplicadas às neurotecnologias são: desenvolvimento de sistemas protéticos com controle muscular por sinais elétricos; desenvolvimento de protocolos de reabilitação envolvendo os aplicativos de realidade virtual e realidade aumentada acoplados a técnicas de neuromodulação (neurorretroalimentação e estimulação transcraniana); desenvolvimento de interfaces usuário-máquina (entre elas interfaces cérebro-computador) e dispositivos eletrônicos vestíveis utilizando técnicas de processamento de neurodados e aprendizado de máquina (CTI, 2024, p. 29).

Em semelhante direção, a Rede de Cooperação em neurociência e nanotecnologia para desenvolvimento de pesquisas sobre o cérebro e seus mecanismos tem, entre seus objetivos, a pesquisa e produção de sondas neurais e do uso da manufatura aditiva para desenvolvimento de soluções e dispositivos (CTI, 2024, p. 36).

As iniciativas de fomento ao setor de pesquisa, desenvolvimento e inovação também vêm ganhando a atenção do mercado, inclusive a partir da criação de fundos específicos (Pacete, 2024). Destaca-se o

caso da Neuro Capital (Neuro Capital, 2025), que pode dar maior tração à adoção e implementação dessas tecnologias emergentes no país.

◀ Perspectivas de futuro ▶

Conforme observado nas seções anteriores, as neurotecnologias têm demonstrado potencial de aplicabilidade nas mais diversas áreas e prometem “transformações profundas na maneira como vivemos, trabalhamos e aprendemos” (GPA, 2024, p. 2). Entre as aplicações mais promissoras para as próximas décadas, podem ser listadas: (i) ferramentas de neurodiagnóstico com inteligência artificial para suporte à decisão para médicos; (ii) desenvolvimento de memória sintética, digitalmente reconstituída de uma memória pessoal, expandindo capacidades cognitivas; (iii) uso das interfaces cérebro-computador para restaurar as habilidades de comunicação em indivíduos com deficiências graves; (iv) desenvolvimento de próteses controladas neuralmente; e (v) aumento cognitivo para melhorar o desempenho humano em funções cerebrais de ordem superior, como raciocínio e tomada de decisão (Bertoni; lenca, 2024, p. 4-5).

No Reino Unido, o ICO (2023, p. 12-16) faz projeções do uso da neurotecnologia nos mercados setoriais em janelas de curto prazo (dois a três anos), médio prazo (quatro a cinco anos) e longo prazo (cinco a sete anos). Apesar de se tratar de perspectiva pensada para o contexto britânico, as considerações podem servir como sinalização para o cenário brasileiro.

Na janela de curto prazo, os principais setores envolvidos seriam o setor médico, com um aumento no uso de neurotecnologias invasivas e desenvolvimento de neuropróteses; o desenvolvimento de dispositivos não considerados médicos que forneçam informações sobre saúde, como dispositivos neurais vestíveis de bem-estar e condicionamento físico não invasivos; e o setor esportivo, para analisar as respostas dos atletas profissionais aos níveis de estímulo e concentração. A médio prazo, o emprego das neurotecnologias podem ser aplicadas no âmbito do trabalho, na indústria de entretenimento de jogos eletrônicos e para uso do neuromarketing direto ao consumidor. A longo prazo, há previsão de potencial aplicação no setor de ensino e em novas formas de comunicação assistiva na área médica.

No setor da saúde, mesmo as tecnologias mais antigas continuarão coexistindo com as inovações mais recentes. Por exemplo, ao registro de sinais cerebrais elétricos foram adicionadas camadas incrementais, como a digitalização e envio remoto dos dados para laudo (que pode implicar na transferência internacional de dados pessoais), e poderão evoluir ainda com o aumento da capacidade de processamento (com o uso de dados coletados para treinamentos dos algoritmos de inteligência artificial) para fins de diagnóstico de doenças ou reconhecimento de padrões aplicados a condições não patológicas, como comportamentos associados a estados mentais de concentração, dispersão ou relaxamento.

A fim de sistematizar as tendências que mais repercussões podem provocar para proteção de dados pessoais e a tutela dos direitos dos titulares, apontam-se quatro em que o desenvolvimento das neurotecnologias seguirá nos próximos anos:

- a. O avanço de interfaces cérebro-computador não invasivas. Muito embora neurotecnologias invasivas sejam mais eficazes até o presente momento devido à maior resolução espacial e temporal (Gaudry *et al.*, 2021; Istance; Tracasas, 2024, p. 4), existem limitações relacionadas à sua adoção. Exemplos disso são o potencial de eventos adversos (da cirurgia de implantação ou decorrentes do uso, como a possibilidade de queimaduras), e a redução tanto da qualidade dos sinais neurológicos registrados ao longo do tempo, como do impacto da estimulação. O desenvolvimento de neurotecnologias não invasivas tem progredido rapidamente e demonstrado potencial para além do campo da pesquisa científica e dos tratamentos médicos (Gaudry *et al.*, 2021; Istance; Tracasas, 2024, p. 4);
- b. O desenvolvimento e comercialização de dispositivos vestíveis para fins não considerados médicos. Apesar de a maioria das neurotecnologias ainda ser desenvolvida para fins médicos, o notório interesse de mercado já impulsiona a produção dessas tecnologias emergentes e sua comercialização em setores pouco ou não regulados (Istance; Tracasas, 2024, p. 7; Navarro *et al.*, 2023, p. 28). Isso, aliás, tem sido considerado fator de

incentivo à pesquisa e inovação em aplicações de neurotecnologias não invasivas e vestíveis (Istace; Tracasas, 2024, p. 7). Com a comercialização no mercado de consumo, além de riscos de segurança mais imediatos, as implicações de longo prazo para a saúde mental do uso de monitores cerebrais não invasivos e neuromoduladores, por exemplo, carecem de evidências científicas (Wexler; Reiner, 2019). Devido à atividade de tratamento e às características dos dados neurais envolvidos, muito provavelmente a maior disseminação das neurotecnologias criará situações de vulnerabilidade ou agravará situações já existentes, implicando riscos aos direitos de privacidade e à proteção de dados pessoais;

- c. Imbricação das neurotecnologias com a inteligência artificial. A integração entre sistemas de inteligência artificial e abordagens baseadas em aprendizado de máquina no desenvolvimento de neurotecnologias e sua aplicação é uma realidade que perdurará (UNESCO, 2023; Yuste, 2023; ONU, 2024; Istace; Tracasas, 2024). Em relação às interfaces cérebro-computador, afirma-se, por exemplo, que uma das maiores vantagens que as abordagens de aprendizado de máquina detém no campo dessas tecnologias é a capacidade de obter modulação em tempo real ou quase real dos parâmetros de treinamento e ajustes subsequentes em resposta ao feedback ativo em tempo real (Zhang *et al.*, 2020). Uma importante decorrência dessa imbricação entre tecnologias e áreas é o compartilhamento dos desafios ético-jurídicos suscitados pelo desenvolvimento e uso de sistemas de inteligência artificial, a exemplo dos vieses algorítmicos e da discriminação ilícita, inferência de estados emocionais em ambientes institucionais hierarquizados, bem como da adoção desses sistemas para práticas manipuladoras;
- d. Intensificação do volume de dados gerados e compartilhamento para fins de pesquisa. Nas últimas décadas, as neurotecnologias possibilitaram grandes avanços na neurociência e de fato transformaram o modo pelo qual se realiza pesquisa nesse campo do conhecimento, partindo do modelo tradicional de projetos dirigidos por um único investigador para um modelo

baseado em esforços conjuntos envolvendo equipes, consórcios e observatórios de dados (Kim *et al.*, 2025, p. 814). Compartilhar dados é, portanto, crucial. Ademais, houve progresso exponencial no volume e escala de dados gerados a partir dessas tecnologias que permitiu a formação de imensas bases de dados. Entretanto, especialistas afirmam que “embora esse rápido progresso ameace nos deixar afogados em dados e complexidade, ele também traz a promessa de novas percepções que podem impulsionar o campo” (Kim *et al.*, 2025, p. 814, tradução nossa). Sendo assim, a geração de grandes volumes de dados neurais – *big (neural) data* – e exigência de compartilhamento de dados na pesquisa em neurociência, colocam questões não triviais sobre a compatibilidade com os princípios finalidade, adequação e necessidade, bem como a respeito das bases normativas que legitimam o compartilhamento de dados neurais.

Considerações finais

O estudo teve por objetivo compreender o panorama das neurotecnologias e suas implicações para a proteção de dados pessoais no contexto brasileiro. Para tanto, a partir da revisão bibliográfica e documental, foram explorados os conceitos de neurotecnologias e dados neurais, apresentados os potenciais usos dessas tecnologias, problematizadas as questões jurídicas pertinentes à proteção de dados pessoais, e mapeadas as aplicações atuais e as perspectivas futuras das neurotecnologias.

A interação direta das neurotecnologias com o cérebro e sistema nervoso, e os dados que são objeto de tratamento nesse processo suscitam o questionamento sobre o caráter pessoal dos dados neurais. Apesar da LGPD não dispor expressamente sobre dado neural e sua definição, o conceito amplo de dado pessoal adotado no direito brasileiro é capaz de compreender os dados neurais relativos à pessoa natural identificada ou identificável. Vale ressaltar que tais dados, sejam fornecidos, observados ou inferidos, podem configurar dados pessoais sensíveis caso revelem aspectos da personalidade referidos no art. 5º, II, da LGPD, a exemplo de dados referentes à saúde. Como decorrência da qualificação do dado neural como dado pessoal, aplica-se o regime de proteção de dados pessoais estabelecido pela LGPD às operações de tratamento de dados neurais, incluindo os princípios de proteção de dados e a necessidade da existência de hipótese legal para assegurar a licitude do tratamento desses dados.

Ao observar as neurotecnologias no contexto brasileiro, pôde-se perceber aplicações diretas no campo da saúde, e em menor escala, mas com tendência de crescimento, em aplicações comerciais para consumo direto dos consumidores ou titulares de dados. Nas atividades da pesquisa e desenvolvimento foram identificadas iniciativas voltadas à inovação, formadas por institutos de pesquisa, ensino e o desenvolvimento de fundos de investimento que versam sobre neuromodulação, neuroestimulação, neuroimagem, neuropróteses e interface cérebro-computador.

O interesse em neurotecnologias tem crescido, impulsionado pela integração com a inteligência artificial e o aprendizado de máquina. Além do progresso científico, o desenvolvimento de neurotecnologias

também é influenciado por interesses econômicos, com um mercado projetado para crescer significativamente. Se antes as neurotecnologias se encontravam restritas ao campo da saúde, hoje apresentam aplicações diversas para consumo direto por parte da população, em atividades do lazer ao ensino, assim como podem ser utilizadas pelo mercado em atividades do marketing ao recrutamento de empregados.

Com tamanho campo de aplicações e perspectivas de expansão futura, é imprescindível não apenas o constante monitoramento dos avanços tecnológicos para a compreensão de seus impactos sobre os direitos à privacidade e à proteção de dados pessoais dos titulares de dados. É também necessário garantir que as normas e preceitos de proteção de dados pessoais sejam observadas no desenvolvimento e aplicação de neurotecnologias, especialmente uma abordagem de proteção de dados desde a concepção (*data protection by design*).

Referências

- ANDORNO, Roberto. Neurotecnologías y derechos humanos en América Latina y el Caribe: desafíos y propuestas de política pública. Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000387079>. Acesso em: 30 out. 2024.
- ANPD. Estudo técnico sobre anonimização de dados na LGPD: análise jurídica. Brasília, DF: ANPD, 2023a. Disponível em: https://www.gov.br/anpd/pt-br/documentos-e-publicacoes/documentos-de-publicacoes/estudo_tecnico_sobre_anonimizacao_de_dados_na_lgpd___analise_juridica.pdf. Acesso em: 07 dez. 2024.
- ANPD. Guia Orientativo: Aplicação da Lei Geral de Proteção de Dados por agentes de tratamento no contexto eleitoral. Brasília, DF: ANPD; TSE, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/anpd/pt-br/centrais-de-conteudo/materiais-educativos-e-publicacoes/guia_lgpd_final.pdf. Acesso em: 25 fev. 2025.
- ANPD. Guia Orientativo: Tratamento de dados pessoais para fins acadêmicos e para a realização de estudos e pesquisas. Brasília, DF: ANPD, 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/anpd/pt-br/centrais-de-conteudo/materiais-educativos-e-publicacoes/web-guia-anpd-tratamento-de-dados-para-fins-academicos.pdf#page=7.99>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- ANPD. Guia Orientativo: Tratamento de dados pessoais pelo Poder Público. Brasília, DF: ANPD, 2023c. Disponível em: <https://www.gov.br/anpd/pt-br/documentos-e-publicacoes/documentos-de-publicacoes/guia-poder-publico-anpd-versao-final.pdf#page=22.10>. Acesso em: 15 dez. 2024.
- ANPD. Nota Técnica nº 50/2024/FIS/CGF/ANPD. Brasília, DF: ANPD, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anpd/pt-br/documentos-e-publicacoes/nt-50-pub.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2024.
- ANVISA. Resolução da Diretoria Colegiada nº 751, de 15 de setembro de 2022. Dispõe sobre a classificação de risco, os regimes de notificação e de registro, e os requisitos de rotulagem e instruções de uso de dispositivos médicos. ANVISA, 2022. Disponível em: https://www.soc.com.br/legislacao_anvisa/2022/RDC_751_2022_.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024a.
- ARTICLE 29 WORKING PARTY. Guidelines on automated individual decision-making and profiling for the purposes of Regulation 2016/679. Bruxelas: [s.n.], 2018. Disponível em: <https://ec.europa.eu/newsroom/article29/items/612053/en>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ARTICLE 29 WORKING PARTY. Guidelines on the right to data portability. Bruxelas:

[s.n.], 2016. Disponível em:

<https://ec.europa.eu/newsroom/article29/items/611233/en>. Acesso em: 10 dez. 2024.

BERTONI, Eduardo; IENCA, Marcello. The privacy and data protection implication of the use of neurotechnology and neural data from the perspective of Convention 108. [s. l.]: Council of Europe, 2024. Disponível em: <https://rm.coe.int/expert-report-neuroscience/1680b12eaa>. Acesso em: 6 jun. 2024.

BIONI, Bruno. Proteção de dados pessoais: a função e os limites do consentimento. Rio de Janeiro: Forense, 2019.

BOON, Paul et al. Deep Brain Stimulation in Patients with Refractory Temporal Lobe Epilepsy. *Epilepsia*, [s. l.], v. 48, n.8, p. 1551- 1560, ago. 2007. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1528-1167.2007.01005.x>. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRAIN4CARE. Brain4care. [s. l.], 2025. Disponível em: <https://brain4.care/solucao/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

BRAINN. Histórias de Sucesso: Sondas Neurais. [s. l.], 15 jul. 2015. Disponível em: <https://www.brainn.org.br/historias-de-sucesso-sondas-neurais/>. Acesso em: 14 fev. 2025.

BRASIL. Lei Nº 8.080, de 19 de setembro de 1990. Dispõe sobre as condições para a promoção, proteção e recuperação da saúde, a organização e o funcionamento dos serviços correspondentes e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 1990. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L8080.htm. Acesso em: 25 fev. 2025.

BRASIL. Lei Nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Brasília, DF: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm. Acesso em: 30 out. 2024.

BRASIL. Lei Nº 14.784, de 28 de maio de 2024. Dispõe sobre a pesquisa com seres humanos e institui o Sistema Nacional de Ética em Pesquisa com Seres Humanos. Brasília, DF: Presidência da República, 2024a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14874.htm. Acesso em: 15 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Sobre o CTI. [s. l.], 06 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/cti/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/sobre-o-cti>. Acesso em: 27 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Conjunta no 10, de 31 de outubro de 2017.

Aprova o Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas da Doença de Parkinson.

Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2017. Disponível em:

<https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/pcdt/arquivos/2022/portaria-conjunta-no-10-2017-pcdt-doenca-de-parkinson.pdf>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS no 3.232, de 1º de março de 2024.

Altera a Portaria de Consolidação GM/MS no 5, de 28 de setembro de 2017, para instituir o Programa SUS Digital. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2024b.

Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2024/prt3232_04_03_2024.html.

Acesso em: 9 dez. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Sistema de gerenciamento da tabela de procedimentos, medicamentos e OPM do SUS. [s. l.], 2024c. Disponível em:

<http://sigtap.datasus.gov.br/tabela-unificada/app/sec/procedimento/exibir/0403080010/11/2024>. Acesso em: 4 dez. 2024.

BYGRAVE, Lee; TOSONI, Luca. Article 4(1) – Personal data. In: KUNER, Christopher;

BYGRAVE, Lee; DOCSEY, Christopher (coord.). The EU General Data Protection Regulation: A Commentary. Oxford: Oxford University Press, 2020.

COCHI, Luca; ZALESKY, Andrew; FONTENELLE, Leonardo F. Editorial: Como pode a

conectômica fazer avançar nosso conhecimento dos transtornos psiquiátricos?

Revista Brasileira de Psiquiatria, [s. l.], v. 34, n. 2, p. 131-134, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-44462012000200003>. Acesso em: 15 dez. 2024.

CONITEC. Procedimentos relativos à assistência à saúde auditiva hospitalar na tabela

SUS. Brasília, DF: [s.n.], 2014. Disponível em: [@download/file](https://www.gov.br/conitec/pt-br/mídias/incorporados/implantes_cocleares-final.pdf). Acesso em: 4 dez. 2024.

CONTI, Matteo et al. Brain Functional Connectivity in de novo Parkinson's Disease

Patients Based on Clinical EEG. Frontiers in Neurology, [s. l.], v. 13, mar. 2022.

Disponível em:

<https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.844745/full>. Acesso em: 18 dez. 2024.

COUNCIL OF EUROPE. Handbook on European Data Protection Law. Bruxelas:

Publications Office of the EU, 2018.

CTI. Termo de compromisso de gestão exercício 2023 relatório anual. [Campinas]:

CTI, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cti/pt-br/acesso-a-informacao/auditorias/relatorios-gerenciais>

cti/Relatrio_final_do_TCG_2023_CTI_Renato_Archer1.pdf/view. Acesso em: 26 fev. 2024.

CTMM. INCT em Neurotecnologia Responsável INCT-NeurotecR, [s. l.] c2019.

Disponível em: <https://ctmm.medicina.ufmg.br/inct-neurotec-r/>. Acesso em: 13 fev. 2025.

CYCOR. Cycor. [s. l.], 2025. Disponível em: <https://cycor.com.br/>. Acesso em: 18 fev. 2025.

EDPS; AEPD. Techdispatch: Neurodata. Luxembourg: Publications Office of the European Union, n. 1, 2024. Disponível em:
https://www.edps.europa.eu/system/files/2024-06/techdispatch_neurodata_en.pdf. Acesso em: 16 nov. 2024.

FINN, Emily S. et al. Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nature Neuroscience*, [s. l.], v. 18, n. 11, p. 1664–1671, 2015.

FRANK, Mario et al. Using EEG-Based BCI Devices to Subliminally Probe for Private Information. Proceedings of the 2017 on Workshop on Privacy in the Electronic Society. Nova Iorque: Association for Computing Machinery, p. 133-136, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3139550.3139559>. Acesso em: 12 fev. 2025.

GAUDRY, Kate S. et al. Projections and the Potential Societal Impact of the Future of Neurotechnologies. *Frontiers in Neuroscience*, [s. l.], v. 15, p. 1–8, nov. 2021. Disponível em:
<https://www.frontiersin.org/journals/neuroscience/articles/10.3389/fnins.2021.658930/full>. Acesso em: 28 abr. 2025.

GENSER, Jared; DAMIANOS, Stephen; YUSTE, Rafael. Safeguarding Brain Data: Assessing the Privacy Practices of Consumer Neurotechnology Companies. [s. l.]: Neurorights Foundation, 2024. Disponível em: https://www.perseus-strategies.com/wp-content/uploads/2024/04/FINAL_Consumer_Neurotechnology_Report_Neurorights_Foundation_April-1.pdf. Acesso em: 25 nov. 2024.

GPA. Resolution on principles regarding the processing of personal information in neuroscience and neurotechnology. [s. l.]: GPA, 2024. Disponível em:
<https://globalprivacyassembly.org/wp-content/uploads/2024/11/Resolution-on-Neurotechnologies.pdf>. Acesso em: 9 dez. 2024.

GUMBRECHT, Jamie; MCPHILLIPS, Deidre. Homem com paralisia volta a andar com a ajuda de implantes de cérebro e coluna. CNN Brasil, [s. l.], 25 mai. 2023. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/saude/homem-com-paralisia->

anda-naturalmente-apos-implantes-de-cerebro-e-coluna/. Acesso em: 15 fev. 2025.

HALLINAN, Dara *et al.* Neurodata and neuroprivacy: Data protection outdated? Surveillance & Society, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 55-72, 2014. Acesso em: 13 nov. 2024.

HEINRICHS, Jan-Hendrik. Brain age Prediction and the Challenge of Biological Concepts of Aging. Neuroethics, [s. l.], v. 16, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12152-023-09531-4>. Acesso em: 09 fev. 2025.

HUCKVALE, Kit; VENKATESH, Svetha; CHRISTENSEN, Helen. Toward clinical digital phenotyping: a timely opportunity to consider purpose, quality, and safety. npj Digital Medicine, [s. l.], v. 2, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0166-1>. Acesso em: 09 mai. 2025.

ICO. ICO tech futures: neurotechnology. [s. l.]: ICO, 2023. Disponível em: <https://ico.org.uk/media/about-the-ico/research-reports-impact-and-evaluation/research-and-reports/technology-and-innovation/ico-tech-futures-neurotechnology-0-1.pdf>. Acesso em: 25 out. 2024.

IENCA, Marcello; ANDORNO, Roberto. Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology. Life Sciences, Society and Policy, [s. l.], v. 13, n.5, p. 1-27, 2017. Disponível em: <https://lsspjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40504-017-0050-1#citeas>. Acesso em: 28 fev. 2025.

IENCA, Marcello *et al.* Towards a Governance Framework for Brain Data. Neuroethics, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1-14, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12152-022-09498-8>. Acesso em: 28 fev. 2025.

IENCA, Marcello; IGNATIADIS, Karolina. Artificial Intelligence in Clinical Neuroscience: Methodological and Ethical Challenges. AJOB Neuroscience, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 77-87, 2020.

IENCA, Marcello; JOTTERAND, Fabrice; ELGER, Bernice. From Healthcare to Warfare and Reverse: How Should We Regulate Dual-Use Neurotechnology? Neuron, [s. l.], v. 97, n. 2, p. 269–274, jan. 2018.

IENCA, Marcello; MALGIERI, Gianclaudio. Mental data protection and the GDPR, Journal of Law and the Biosciences, [s. l.], v. 9, n. 1, jan./jun. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jlb/lsc006>. Acesso em: 13 nov. 2024.

IENCA, Marcello; HASELAGER, Pim; EMANUEL, Ezekiel. Brain leaks and consumer neurotechnology. Nature Biotechnology, v. 36 n. 9, p. 805-810, 2018. Disponível em: <https://docdrop.org/pdf/lenca-2018-Brain-leaks-and-consumer-neurotechnology8ru.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

- INNOCENTI, Giorgio. Defining neuroplasticity. In: AMINOFF, Michael; BOLLER, François; SWAAB, Dick (ed.). *Handbook of Clinical Neurology*. Amsterdam: Elsevier, v. 184, p. 3-18, 2022.
- INTERNATIONAL NEUROMODULATION SOCIETY. About neuromodulation. [s. l.], 2023. Disponível em: <https://www.neuromodulation.com/about-neuromodulation#Footnote>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- INTERNATIONAL NEUROMODULATION SOCIETY. Conditions That May Be Treated with Neuromodulation. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://www.neuromodulation.com/conditions>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- ISD. Instituto Santos Dumont. [s. l.], 13 fev. 2025. Disponível em: <https://institutosantosdumont.org.br/>. Acesso em: 13 fev. 2025.
- ISTACE, Timo; TRASCASAS, Milena C. Between science-fact and science-fiction: innovation and ethics in neurotechnology. Genebra: Geneva Academy, 2024. Disponível em: <https://www.geneva-academy.ch/joomlatools-files/docman-files/Between%20Science-Fact%20and%20Science-Fiction%20Innovation%20and%20Ethics%20in%20Neurotechnology.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- JEAN Thierry; GUAY HOTTIN, Rose; ORBAN, Pierre. Forecasting mental states in schizophrenia using digital phenotyping data. *PLOS Digital Health*, v. 4, n. 2, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000734>. Acesso em: 09 mai. 2025.
- KHARE, Smith K. et al. Emotion recognition and artificial intelligence: A systematic review (2014–2023) and research recommendations. *Information Fusion*, [s. l.], v. 102, fev. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1566253523003354>. Acesso em: 09 mai. 2025.
- KIM, Jinyun et al. The future of neurotechnology: From big data to translation. *Neuron*, [s. l.], v. 113, n. 6, p. 814–816, mar. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2025.02.019>. Acesso em: 02 abr. 2025.
- KOLB, Bryan; MYCHASIUK, Richelle; GIBB, Robin. Brain development, experience, and behavior. *Pediatric Blood & Cancer*, [s. l.], v. 61, n. 10, p. 1720-1723, out. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pbc.24908>. Acesso em: 19 dez. 2024.
- KRUEGER, Eddy et al. Optogenética e estimulação óptica neural: estado atual e perspectivas. *Revista Brasileira de Engenharia Biomédica*, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 294-308, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeb/a/wWzZnVDBsPxzKt7Jq7W5QRd/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

LEWIS, Dyani. Brain-spine interface allows paralysed man to walk using his thoughts.

Nature, [s. l.], 24 mai. 2023. Disponível em:

<https://www.nature.com/articles/d41586-023-01728-0>. Acesso em: 13 fev. 2025.

LI, Fa; XU, Gangyan; FENG, Shanshan. Eye Tracking Analytics for Mental States Assessment – A Review. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, 2021, [s. l.]. Anais [...]. Melbourne: IEEE, 2021, p. 2266-2271 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9658674>. Acesso em: 24 fev. 2025.

LIGTHART, Sjors *et al.* Minding Rights: Mapping Ethical and Legal Foundations of ‘Neurorights’. Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 461-481, 2023. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/cambridge-quarterly-of-healthcare-ethics/article/minding-rights-mapping-ethical-and-legal-foundations-of-neurorights/2F3BD282956047E1E67AA9049A2A0B68>. Acesso em: 28 fev. 2025.

LÓPEZ BERNAL, Sergio *et al.* Security in Brain-Computer Interfaces: State-Of-The-Art, Opportunities, and Future Challenges. ACM Computing Surveys, [s. l.], v. 54, n. 1, p. 1-35, jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3427376>. Acesso em: 12 fev. 2025.

LORACH, Henri *et al.* Walking naturally after spinal cord injury using a brain-spine interface. Nature, [s. l.], v. 618, p. 126-133, jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06094-5>. Acesso em: 11 dez. 2024.

LUGURI, Jamie; STRAHILEVITZ, Lior J. Shining a light on dark patterns. Journal of Legal Analysis, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 43-109, 2021.

MACHADO, Diego. Considerações iniciais sobre o conceito de dado pessoal no ordenamento jurídico brasileiro. Civilistica.com, Rio de Janeiro, v. 12, n. 1, p. 1-34, 2023. Disponível em: <https://civilistica.emnuvens.com.br/redc/article/view/843>. Acesso em: 13 dez. 2024.

MITRA, Anish *et al.* Targeted neurostimulation reverses a spatiotemporal biomarker of treatment-resistant depression. PNAS, [s. l.], v. 120, n. 21, p.1-9, 2023. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.2218958120>. Acesso em: 28 fev. 2025.

NARAYANAN, Arvind; KAPOOR, Sayash. AI Snake Oil: what artificial intelligence can do, what it can't, and how to tell the difference. Princeton: Princeton University Press, 2024.

NAVARRO, Marta S. *et al.* The risks and challenges of neurotechnologies for human rights. Paris-Milão-Nova Iorque: UNESCO, University of Milan-Biocca, State University of New York Downstate, 2023. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384185>. Acesso em: 16 jan. 2025.

NEUROBOTS. Neurobots. [s. l.], 18 fev. 2025. Disponível em:

<https://neurobots.com.br/>. Acessado em: 18 fev. 2025.

NEURO CAPITAL. Neurocapital. [s. l.], 11 fev. 2025. Disponível em

<https://www.neuro.capital/>. Acesso em: 11 fev. 2025.

NEURO PLUS BRASIL. Todos os produtos. [s. l.], 20 dez. 2024. Disponível em:

<https://www.neuroplusbrasil.com.br/>. Acesso em: 20 dez. 2024.

NORTH, Richard et al. Glossary of Neurostimulation Terminology: A Collaborative

Neuromodulation Foundation, Institute of Neuromodulation, and International

Neuromodulation Society Project. Neuromodulation: Technology at the Neural

Interface, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 1050-1058, out. 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1094715921061857#tbl2>.

Acesso em: 17 fev. 2025.

OCDE. Recommendation of the Council on OECD Legal Instruments Responsible

Innovation in Neurotechnology. [Paris]: OECD, 2019. Disponível em:

<https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0457#mainText>.

Acesso em: 16 out. 2024.

OEA. Inter American Declaration of Principles Regarding Neuroscience,

Neurotechnologies, and Human Rights, Rio de Janeiro, 09 mar. 2023. Disponível

em: https://www.oas.org/en/sla/iajc/docs/CJI-RES_281_CII-O-23_corr1_ENG.pdf.

Acesso em: 29 nov. 2024.

ONU. Human Rights Council. Impact, opportunities and challenges of

neurotechnology with regard to the promotion and protection of all human rights:

Report of the Human Rights Council Advisory Committee. [s. l.]: ONU, 2024.

Disponível em:

<https://documents.un.org/doc/undoc/gen/g24/133/28/pdf/g2413328.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2024.

OOSTERWIJK, Suzanne et al. States of mind: Emotions, body feelings, and thoughts

share distributed neural networks. *NeuroImage*, [s. l.], v. 62, n. 3, p. 2110-2128,

set. 2012. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22677148/>. Acesso em: 09 mai. 2025.

PACETE, Luiz Gustavo. Miguel Nicolelis e Flávio Pripas criam fundo inédito de R\$ 1 Bi

para mercado de neurotecnologia. *Forbes*, [s. l.], 27 nov. 2024. Disponível em:

<https://forbes.com.br/forbes-tech/2024/11/miguel-nicolelis-e-flavio-pripas-criam-fundo-inedito-de-r-1-bi-para-mercado-de-neurotecnologia/>. Acesso em: 19 dez. 2024.

PYCROFT, Laurie et al. Brainjacking: Implant Security Issues in Invasive

Neuromodulation. *World Neurosurgery*, [s. l.], v. 92, p. 454-462, ago. 2016.

RAINEY, Stephen *et al.* Is the European Data Protection Regulation sufficient to deal with emerging data concerns relating to neurotechnology? *Journal of Law and the Biosciences*, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 1-19, 2020.

RAINEY, Stephen *et al.* Data and Consent Issues with Neural Recording Devices. In: FRIEDRICH, Orsolya *et al.* (Coords.). *Clinical Neurotechnology meets Artificial Intelligence: Philosophical, Ethical, Legal and Social Implications*. Springer: Cham, 2021. p. 141-154.

RED IBEROAMERICANA DE PROTECCION DE DATOS. Declaración sobre neurodatos de la Red Iberoamericana de Protección de Datos. Antigua: Red Iberoamericana de Protección de Datos, 2023. Disponível em:
<https://www.redipd.org/sites/default/files/2023-10/declaracion-neurodatos-ripd.pdf>. Acesso em: 15 out. 2023.

REGULATORY HORIZONS COUNCIL. Neurotechnology Regulation: The Regulatory Horizons Council. [s. l.]: RHC, 2022. Disponível em:
<https://assets.publishing.service.gov.uk/media/63e9e8f88fa8f5050ee37d10/rhc-neurotechnology-regulation.pdf#page=13.12>. Acesso em: 10 fev. 2025.

RODRIGUES, Alex. Neurotecnologia avança: cientistas pedem proteção à privacidade mental. Agência Brasil, Brasília, DF: 10 mar. 2024. Disponível em:
<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-03/neurotecnologia-avanca-cientistas-pedem-protecao-privacidade-mental>. Acesso em: 16 dez. 2024.

SCHWARZ, Christopher *et al.* Identification of Anonymous MRI Research Participants with Face-Recognition Software. *The New England Journal of Medicine*, Boston, v. 381, n. 17, 2019. Disponível em:
<https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMc1908881>. Acesso em: 19 dez. 2024.

SKARAMAGKAS, Vasileios *et al.* Review of Eye Tracking Metrics Involved in Emotional and Cognitive Processes. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, [s. l.], v. 16, p. 260-277, 2023. Disponível em: 25 fev. 2025.

SPORNS, Olaf. The human connectome: a complex network. *Annals of the New York Academy of Sciences*, [s. l.], v. 1224, p. 109-125, 2011. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05888.x>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SPORNS, Olaf; TONONI, Giulio; KÖTTER, Rolf. The Human Connectome: A Structural Description of the Human Brain. *PLoS Computational Biology*, [s. l.], v. 1, n. 4, 245-251, 2005. Disponível em:
<https://journals.plos.org/ploscompbiol/article/file?id=10.1371/journal.pcbi.0010042&type=printable>. Acesso em: 14 dez. 2024.

TEFFÉ, Chiara Spadaccini de. Dados pessoais sensíveis: qualificação, tratamento e boas práticas. Indaiatuba: Foco, 2022.

- UNESCO. International Bioethics Committee. Ethical issues of neurotechnology: report, adopted in December 2021. Paris: 2022, UNESCO. Disponível em: <https://doi.org/10.54678/QNKB6229>. Acesso em: 22 out. 2024.
- UNESCO. Unveiling the Neurotechnology Landscape: Scientific Advancements Innovations and Major Trends. Paris: UNESCO, 2023.
- UNESCO. First draft of the Recommendation on the Ethics of Neurotechnology. Paris: UNESCO, 2024. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391444>. Acesso em: 6 jun. 2025.
- UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) nº 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2016, relativo à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados e que revoga a Diretiva 95/46/CE (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados). Jornal Oficial da União Europeia, Estrasburgo, 04/05/2016. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=DA>. Acesso em: 16 dez. 2024.
- VAN DE VILLE, Dimitri et al. When makes you unique: Temporality of the human brain fingerprint. *Science Advances*, [s. l.], v. 7, n. 42, p. 1–10, 2021. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.abj0751>. Acesso em: 12 dez. 2024.
- VÁZQUEZ-GUARDADO, Abraham et al. Recent advances in neurotechnologies with broad potential for neuroscience research. *Nature Neuroscience*, [s. l.], v. 23, n. 12, p. 1522–1536, dez. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41593-020-00739-8>. Acesso em: 29 out. 2024.
- VONCK, Kristl; HERDT, Veerle de; SPRENGERS, Mathieu; BEN-MENACHEM, Elinor. Neurostimulation for epilepsy. In: AMINOFF, Michael; BOLLER, François; SWAAB, Dick (ed.). *Handbook of Clinical Neurology*. Edinburgh: Elsevier, v. 108. p. 955–970, 2012. E-book. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978044452899500040X?via%3Dihub>. Acesso em 25 fev. 2025.
- WANG, Yifan; HONG, Shen; TAI, Crystal. China's Efforts to Lead the Way in AI Start in Its Classrooms. *Wall Street Journal*, [s. l.], 24 out. 2019. Disponível em: <https://www.wsj.com/articles/chinas-efforts-to-lead-the-way-in-ai-start-in-its-classrooms-11571958181>. Acesso em: 02 fev. 2025.
- WEXLER, Anna; REINER, Peter B. Oversight of direct-to-consumer neurotechnologies. *Science*, [s. l.], v. 363, n. 6424, p. 234–235, jan. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330477002_Oversight_of_direct-to-consumer_neurotechnologies. Acesso em: 16 jan. 2025.

- WILLIAMSON, Ben. Brain Data: Scanning, Scraping and Sculpting the Plastic Learning Brain Through Neurotechnology. Postdigital Science and Education, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 65-86, 2019.
- YANG, Su; DERAVI, Farzin. On the Usability of Electroencephalographic Signals for Biometric Recognition: A Survey. IEEE Transactions on Human-Machine Systems, [s. l.], v. 47, n. 6, p. 958-969, 2017. Disponível em:
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7898514>. Acesso em: 28 fev. 2025.
- YANG, Seo Eun et al. Functional connectivity signatures of political ideology. PNAS Nexus, [s. l.], v. 1, n. 3, jul. 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgac066>. Acesso em: 10 dez. 2024.
- YUSTE, Rafael. Advocating for neurodata privacy and neurotechnology regulation. Nature Protocols, [s. l.], v. 18, n. 10, p. 2869-2875, out. 2023.
- YUSTE, Rafael; GENSER, Jared; HERRMANN, Stephanie. It's Time for Neurorights: New Human Rights for the Age of Neurotechnology. Horizons, [s. l.], n. 18, 2021, p. 154-164. Disponível em:
<https://www.cirsd.org/files/000/000/008/47/7dc9d3b6165ee497761b0abe69612108833b5cff.pdf#page=2.00>. Acesso em: 05 fev. 2025.
- ZHANG, Xiayin et al. The combination of brain-computer interfaces and artificial intelligence: applications and challenges. Annals of Translational Medicine, [s. l.], v. 8, n. 11, p. 712-720, jun. 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.21037/atm.2019.11.109>. Acesso em: 01 abr. 2025.
- ZIMMERMAN, Carla. As deep techs, startups de base científica que desenvolvem soluções para problemas complexos, ganham foco e interesse no país. Revista Pesquisa FAPESP. [s. l.], 23 dez. 2024. Disponível em:
<https://revistapesquisa.fapesp.br/as-deep-techs-startups-de-base-cientifica-que-desenvolvem-solucoes-para-problemas-complexos-ganham-foco-e-interesse-no-pais/>. Acesso em: 25 fev. 2025.

www.gov.br/anpd

