

**NEUROMODULAÇÃO NÃO INVASIVA (TMS E TDCS) NO TRATAMENTO DE DOENÇAS
NEUROLÓGICAS: EVIDÊNCIAS CLÍNICAS, MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E
PERSPECTIVAS**

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.034-017>

José Isaque do Nascimento Manguiera

Graduando em Medicina
Centro Universitário Maurício de Nassau - UNINASSAU, Campina Grande PB
E-mail: jose22isaque@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6272108472528668>

Diogo Henrique Juliano Pinto de Moura

Graduando em Medicina
Faculdade Serra Dourada - SERRA DOURADA, Lorena SP
E-mail: diogohjmoura@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6267523224276372>

Jennifer Nascimento da Silva

Mestra em Biotecnologia Industrial
Universidade Tiradentes - UNIT, Aracaju SE
E-mail: enf.jennifernascimento@outlook.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2471301220200705>

Ronaldo Pereira da Silva

Graduado em Enfermagem
Centro Universitário Maurício de Nassau - UNINASSAU, Aracaju SE
E-mail: naldopsm@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2924772288208724>

Bianca de Almeida Rocha de Souza

Graduanda em Fisioterapia
Faculdade Estácio - ESTÁCIO, Belém PA
E-mail: bianca.Almeida.1401@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/5587005903102492>

Weslei Talhaferro Batista

Graduando em Farmácia
Universidade Federal de Pampa - UNIPAMPA, Uruguaiana RS
E-mail: wesleitalhaferro9@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/1428578093822445>
<https://orcid.org/0009-0009-7254-6479>

Yara Yanaê de Melo de Maria

Graduada em Biomedicina
Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Itapetininga SP
E-mail: yarayaneyah@gmail.com
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/8626698063315544>

Stefanie Silva Vieira

Graduada em Psicologia
Centro Universitário Poi Décimo - UNIPOI
E-mail: stefanie.vieira@hotmail.com

Thayssa Ferreira dos Santos

Doutorando em Neurociência e Biologia Celular
Universidade Federal do Pará - UFPA, Belém PA
E-mail: thayssafisio@hotmail.com
Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0799402170432303>
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8699-585X>

Luély Vacari Ortiz

Graduada em Enfermagem
Universidade Federal de Ciências da Saúde de Porto Alegre - UFCSPA, Porto Alegre RS
E-mail: lvaortiz@hcpa.edu.br
Lattes: <https://lattes.cnpq.br/6201333964721384>
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2522-1317>

RESUMO

A neuromodulação não invasiva, especialmente por meio da estimulação magnética transcraniana (TMS) e da estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), tem se consolidado como estratégia terapêutica promissora no manejo de condições neurológicas e neuropsiquiátricas entre 2021 e 2025. Esta revisão analisou evidências clínicas recentes, mecanismos neurobiológicos subjacentes e avanços relacionados à medicina personalizada. Os achados indicam que os efeitos terapêuticos variam conforme a condição clínica, o estágio da doença e o perfil neurobiológico do paciente, sendo mais robustos em fases iniciais e quando associados a intervenções reabilitacionais. Do ponto de vista mecanístico, a neuromodulação atua na regulação da excitabilidade cortical, na reorganização de redes neurais e na modulação de processos sinápticos mediados por fatores neurotróficos, contribuindo para a plasticidade neural adaptativa. Contudo, a heterogeneidade de resposta permanece um desafio, reforçando a necessidade de estratégias individualizadas. Nesse contexto, biomarcadores neurofisiológicos, moleculares e de neuroimagem emergem como ferramentas relevantes para predição de resposta e otimização de protocolos. Perspectivas futuras incluem o uso de neuronavegação guiada por neuroimagem, protocolos adaptativos e integração com inteligência artificial, ampliando a precisão terapêutica. Assim, a incorporação de princípios da medicina personalizada representa etapa fundamental para consolidar a neuromodulação como intervenção baseada em evidências e orientada por biomarcadores na prática clínica contemporânea.

Palavras-chave: Biomarcadores; Estimulação magnética transcraniana; Medicina personalizada; Neuromodulação; Plasticidade neural.

1 INTRODUÇÃO

A neuromodulação não invasiva (NIBS, do inglês non-invasive brain stimulation) tem emergido como uma estratégia terapêutica promissora no tratamento de doenças neurológicas e psiquiátricas, ao modular a excitabilidade cortical e a plasticidade sináptica por meio de estímulos elétricos ou magnéticos aplicados no couro cabeludo. Entre as principais técnicas destacam-se a estimulação magnética transcraniana (TMS) e a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), ambas amplamente investigadas nas últimas décadas quanto à eficácia clínica, mecanismos neurobiológicos e potencial de aplicação em diferentes contextos patológicos (Desarkar, Vicario e Soltanlou, 2024; Camacho-Conde *et al.*, 2021). Essas intervenções têm sido consideradas alternativas ou adjuvantes às terapias farmacológicas tradicionais, sobretudo em condições caracterizadas por disfunções de redes neurais e resistência terapêutica (Hyde *et al.*, 2022).

A TMS utiliza campos magnéticos pulsáteis para induzir correntes elétricas no córtex cerebral, promovendo despolarização neuronal focal e modulando circuitos cortico-subcorticais (Soma, De Graaf e Sack, 2022). Já a tDCS aplica corrente elétrica de baixa intensidade por meio de eletrodos posicionados no escalpo, alterando o potencial de membrana neuronal e facilitando ou inibindo a excitabilidade cortical, a depender da polaridade utilizada (Yamada e Sumiyoshi, 2021). Ambas as técnicas demonstram capacidade de induzir plasticidade dependente de atividade, influenciando mecanismos como potenciação de longa duração (LTP) e depressão de longa duração (LTD), fundamentais para processos de aprendizagem, memória e reorganização funcional após lesão (Barbati, Podda e Grassi, 2022).

Do ponto de vista molecular, evidências recentes indicam que a neuromodulação não invasiva promove alterações transcriptômicas e neuroquímicas associadas à regulação de fatores neurotróficos, modulação glutamatérgica e GABAérgica, além de efeitos sobre vias inflamatórias e metabólicas cerebrais (Agrawal *et al.*, 2025; Markowska e Tarnacka, 2024). Estudos comparativos demonstram que os efeitos da tDCS podem apresentar equivalência funcional de longo prazo com a TMS, sugerindo convergência de mecanismos biológicos subjacentes, apesar das diferenças físicas entre os estímulos (Agrawal *et al.*, 2025). De maneira complementar, a modulação do córtex pré-frontal por tDCS influencia circuitos dopaminérgicos e de recompensa, evidenciando implicações terapêuticas em transtornos por uso de substâncias (Chmiel e Kurpas, 2025; Ramos *et al.*, 2025).

No campo das doenças neurodegenerativas, a neuromodulação tem sido investigada em condições como doença de Alzheimer, doença de Parkinson e esclerose lateral amiotrófica (ELA). Revisões sistemáticas indicam que tanto a TMS quanto a tDCS podem melhorar desempenho cognitivo e funcional em pacientes com comprometimento de memória associado à doença de Alzheimer (Fernandes *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2023). Além disso, a estimulação de redes corticais envolvidas na cognição e no

controle motor pode atenuar sintomas e contribuir para estabilização funcional em doenças neurodegenerativas (Oyovwi *et al.*, 2025). No contexto da ELA, estudos recentes apontam a neuromodulação como estratégia potencial para modular hiperexcitabilidade cortical, um dos marcadores fisiopatológicos da doença (Della Toffola *et al.*, 2025), sendo que protocolos de alta definição em tDCS estão em investigação em ensaios clínicos multicêntricos (Laurentino *et al.*, 2025).

Em doenças cerebrovasculares, especialmente no acidente vascular cerebral isquêmico, a NIBS tem sido explorada como ferramenta para promover reorganização cortical e recuperação motora. Alterações moleculares no cérebro isquêmico podem constituir alvos terapêuticos para TMS e tDCS, reforçando a possibilidade de intervenções combinadas com reabilitação intensiva e terapias farmacológicas (Markowska e Tarnacka, 2024). Ademais, evidências apontam que a tDCS apresenta benefícios na reabilitação do equilíbrio em diferentes distúrbios neurológicos, consolidando seu papel como intervenção adjuvante na fisioterapia neurológica (Beretta *et al.*, 2022).

No campo da dor crônica neuropática, a neuromodulação não invasiva tem apresentado evidências consistentes de eficácia clínica. Revisões baseadas em evidências demonstram que tanto a TMS quanto a tDCS promovem redução significativa da intensidade da dor, especialmente quando direcionadas ao córtex motor primário (Duarte-Moreira *et al.*, 2025). Esses achados corroboram a hipótese de que a modulação de redes cortico-talâmicas e de sistemas descendentes inibitórios da dor constitui um dos principais mecanismos de ação dessas técnicas (Camacho-Conde *et al.*, 2021).

A aplicação da neuromodulação também se estende aos transtornos psiquiátricos, nos quais disfunções de conectividade e desequilíbrios neuroquímicos são centrais. Metanálises abrangentes evidenciaram eficácia da neuroestimulação em diversos transtornos mentais, incluindo depressão maior, transtorno obsessivo-compulsivo e esquizofrenia, com perfil de segurança favorável (Hyde *et al.*, 2022; Sabé *et al.*, 2024). Além disso, a reorganização de redes neurais disfuncionais, especialmente circuitos fronto-límbicos, constitui um dos principais alvos terapêuticos da neuromodulação em psiquiatria (Michalopoulou *et al.*, 2025).

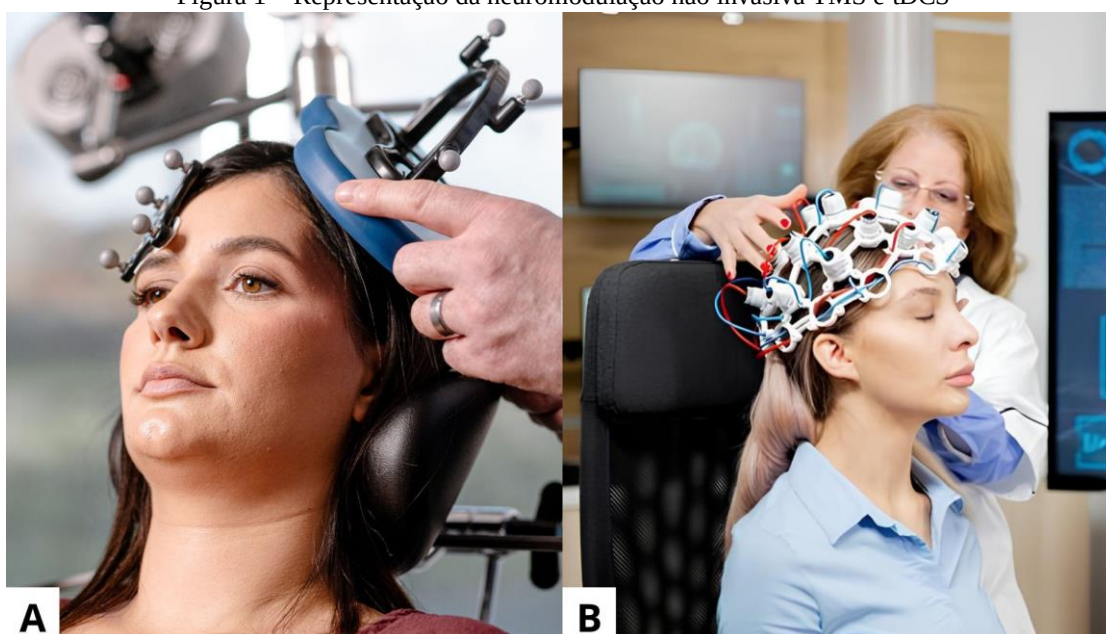
Em distúrbios de linguagem e cognição, como a afasia progressiva primária, revisões recentes identificaram melhora em funções linguísticas com o uso de TMS e tDCS, sugerindo potencial de modulação de redes perisilvianas (Gobbi *et al.*, 2025). Tais achados ampliam a perspectiva de utilização dessas técnicas em programas de reabilitação cognitiva estruturada (Fernandes *et al.*, 2024).

Avanços tecnológicos têm ampliado o escopo da neuromodulação, incluindo abordagens de estimulação cerebral profunda não invasiva ou minimamente invasiva, que buscam atingir estruturas subcorticais com maior precisão (Liu *et al.*, 2022). Paralelamente, destaca-se a importância da perspectiva de pacientes e profissionais quanto à aceitabilidade, segurança e aspectos éticos na aplicação dessas técnicas, ressaltando a necessidade de protocolos padronizados e diretrizes clínicas robustas (Maier

et al., 2024).

Apesar dos avanços, desafios persistem, incluindo heterogeneidade metodológica dos estudos, variabilidade interindividual de resposta, padronização de parâmetros de estimulação e definição de biomarcadores preditivos de eficácia. A compreensão aprofundada dos mecanismos neurobiológicos é fundamental para otimizar protocolos terapêuticos e maximizar desfechos clínicos, integrando dados de neuroimagem, neurofisiologia e biologia molecular (Camacho-Conde *et al.*, 2021; Markowska e Tarnacka, 2024). A Figura 1 apresenta uma representação da TMS e da tDCS, facilitando a compreensão comparativa das duas técnicas.

Figura 1 – Representação da neuromodulação não invasiva TMS e tDCS



Fonte: A) About TMS - Magstim (2024), B) Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Therapy in Mumbai (2022)

Diante da crescente prevalência de doenças neurológicas e psiquiátricas, associadas a elevado impacto funcional, social e econômico, torna-se imperativo explorar intervenções terapêuticas seguras, eficazes e baseadas em evidências. A neuromodulação não invasiva apresenta perfil de segurança favorável, baixo risco de eventos adversos graves e potencial de aplicação ambulatorial, configurando-se como alternativa estratégica especialmente em casos refratários ou como terapia adjuvante (Hyde *et al.*, 2022; Sabé *et al.*, 2024). Assim, a consolidação de evidências clínicas e a elucidação de seus mecanismos neurobiológicos justificam a relevância científica e clínica do aprofundamento dessa temática, contribuindo para a ampliação de abordagens terapêuticas inovadoras e para a qualificação da prática clínica interdisciplinar.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo analisar as evidências clínicas, os mecanismos neurobiológicos e as perspectivas futuras da neuromodulação não invasiva, com ênfase na TMS e na tDCS,

no tratamento de doenças neurológicas, discutindo seus fundamentos fisiopatológicos, aplicações terapêuticas e desafios para implementação clínica baseada em evidências.

2 METODOLOGIA

Trata-se de uma revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e caráter descritivo-analítico, realizada com o objetivo de sintetizar evidências científicas acerca da neuromodulação não invasiva, com ênfase na estimulação magnética transcraniana (TMS) e na estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), no tratamento de doenças neurológicas. Optou-se por esse delineamento por possibilitar a inclusão de diferentes desenhos metodológicos, permitindo análise ampla e sistematizada das evidências clínicas, dos mecanismos neurobiológicos e das perspectivas terapêuticas.

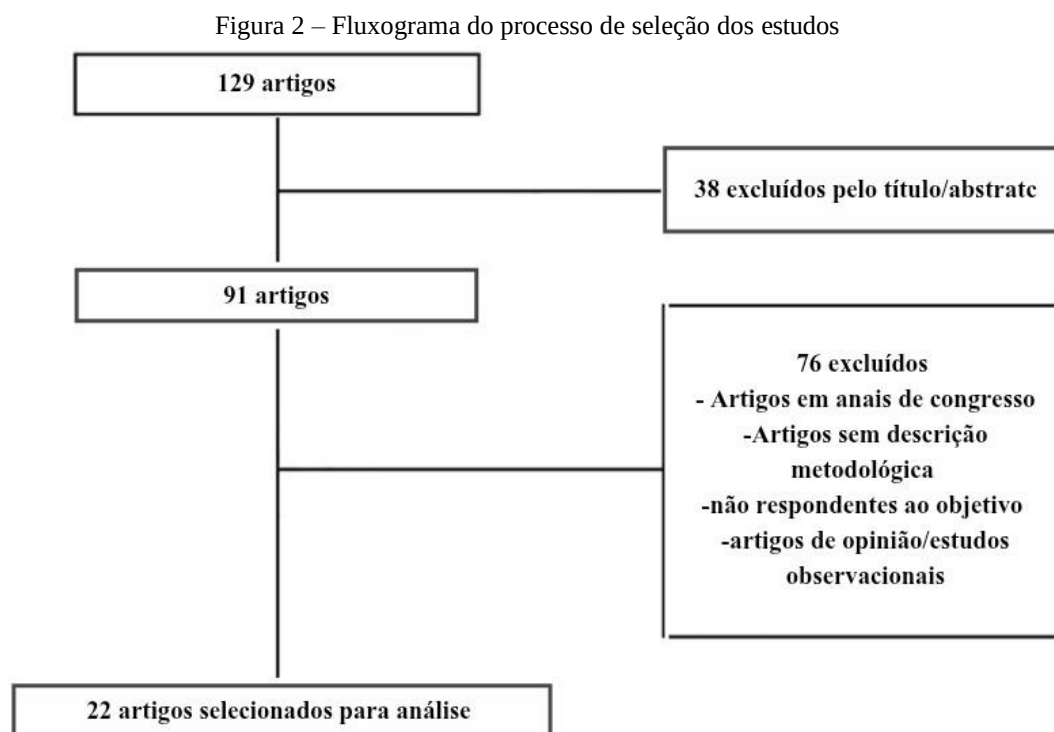
A busca bibliográfica foi conduzida no período de janeiro de 2021 a dezembro de 2025, contemplando publicações nacionais e internacionais disponíveis nas bases de dados PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase e Biblioteca Virtual em Saúde (BVS). A delimitação temporal justificase pela necessidade de reunir evidências atualizadas, considerando o avanço tecnológico e metodológico recente no campo da neuromodulação cerebral.

Foram utilizados descritores controlados e não controlados, combinados por operadores booleanos (AND, OR), conforme os Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e o Medical Subject Headings (MeSH). Os principais descritores empregados foram: “Transcranial Magnetic Stimulation”, “Repetitive Transcranial Magnetic Stimulation”, “Transcranial Direct Current Stimulation”, “Non-invasive Brain Stimulation”, “Neuromodulation”, “Neurological Disorders”, “Neurodegenerative Diseases”, “Chronic Pain”, “Stroke”, “Alzheimer Disease”, “Amyotrophic Lateral Sclerosis” e “Neurobiological Mechanisms”. As estratégias de busca foram adaptadas conforme as especificidades de cada base de dados.

Como critérios de inclusão, foram considerados: (1) artigos originais, revisões sistemáticas, metanálises, revisões narrativas e ensaios clínicos randomizados; (2) estudos publicados entre 2021 e 2025; (3) publicações em língua inglesa, portuguesa ou espanhola; (4) pesquisas que abordassem TMS e/ou tDCS aplicadas a doenças neurológicas ou psiquiátricas; (5) estudos que apresentassem desfechos clínicos, mecanismos neurobiológicos ou perspectivas terapêuticas relacionadas à neuromodulação não invasiva; e (6) textos disponíveis na íntegra.

Foram estabelecidos como critérios de exclusão: (1) estudos duplicados nas bases de dados; (2) relatos de caso isolados, editoriais, cartas ao editor e resumos de congressos sem publicação completa; (3) pesquisas envolvendo exclusivamente estimulação cerebral invasiva, como estimulação cerebral profunda convencional, sem correlação com métodos não invasivos; (4) estudos com metodologia insuficientemente descrita; e (5) publicações cujo foco não estivesse diretamente relacionado à aplicação terapêutica ou aos mecanismos da TMS e/ou tDCS.

A Figura 2 apresenta o fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, conforme as etapas metodológicas adotadas nesta revisão integrativa.



Fonte: Autoria própria (2026)

Para análise e síntese dos dados, adotou-se abordagem qualitativa, com categorização temática em três eixos principais: (1) evidências clínicas da TMS e da tDCS em doenças neurológicas; (2) mecanismos neurobiológicos envolvidos na modulação cortical e sináptica; e (3) perspectivas futuras e desafios para implementação clínica. Os resultados foram organizados de forma descritiva e comparativa, permitindo identificar convergências, divergências e lacunas no conhecimento científico atual.

Por se tratar de estudo de revisão de literatura com utilização exclusiva de dados secundários de domínio público, não houve necessidade de submissão a Comitê de Ética em Pesquisa, conforme as normativas vigentes para pesquisas que não envolvem seres humanos diretamente.

Assim, a metodologia adotada possibilitou a construção de uma análise abrangente, atualizada e fundamentada em evidências científicas recentes (2021–2025), assegurando rigor na seleção dos estudos e consistência na interpretação dos achados acerca da neuromodulação não invasiva no tratamento de doenças neurológicas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos incluídos na presente revisão evidenciam que a neuromodulação não invasiva, especialmente por meio da TMS e da tDCS, apresenta eficácia variável, porém clinicamente relevante, no manejo de diferentes condições neurológicas, com impacto sobre desfechos motores, cognitivos e funcionais. Observou-se que a magnitude dos efeitos terapêuticos está diretamente relacionada à condição clínica de base, ao estágio da doença, ao perfil neurofisiológico do paciente e aos parâmetros de estimulação empregados, como frequência, intensidade, duração e área cortical-alvo. Ademais, os resultados apontam que os benefícios clínicos parecem estar sustentados por mecanismos neurobiológicos associados à modulação da excitabilidade cortical, reorganização de redes neurais e indução de plasticidade sináptica dependente de atividade. Entretanto, permanece significativa heterogeneidade metodológica entre os estudos, sobretudo quanto à padronização dos protocolos e à identificação de preditores de resposta terapêutica. Nesse contexto, os achados reforçam a necessidade de análise estratificada das evidências, considerando especificidades clínicas e biológicas, o que fundamenta a organização da discussão nos seguintes eixos temáticos: Evidências Clínicas Estratificadas por Condição Neurológica e Perfil do Paciente; Mecanismos Neurobiológicos e Modulação da Plasticidade Neural; e Medicina Personalizada, Biomarcadores e Perspectivas Futuras.

3.1 EVIDÊNCIAS CLÍNICAS ESTRATIFICADAS POR CONDIÇÃO NEUROLÓGICA E PERFIL DO PACIENTE

A análise das evidências clínicas demonstra que a eficácia da neuromodulação não invasiva por meio da estimulação magnética transcraniana (TMS) e da estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) varia conforme a condição neurológica tratada, o estágio da doença, o fenótipo clínico e características individuais do paciente, como idade, padrão de conectividade cerebral e nível basal de excitabilidade cortical. Conforme destacam Desarkar, Vicario e Soltanlou (2024), a aplicação terapêutica da neuromodulação deve considerar a heterogeneidade das redes neurais envolvidas em cada patologia, uma vez que diferentes circuitos cortico-subcorticais respondem de maneira distinta aos protocolos de estimulação.

No contexto das doenças neurodegenerativas, especialmente na doença de Alzheimer, evidências apontam benefícios cognitivos moderados, sobretudo quando a estimulação é direcionada ao córtex pré-frontal dorsolateral e regiões temporoparietais. Fernandes *et al.* (2024), em metanálise, identificaram melhora significativa em domínios de memória episódica e funções executivas após ciclos repetidos de TMS e tDCS, com perfil de segurança favorável. De maneira complementar, Wang *et al.* (2023) ressaltam que a tDCS apresenta resultados promissores quando comparada a outras modalidades de estimulação não invasiva, particularmente em fases leves a moderadas da doença. Oyovwi *et al.* (2025) enfatizam que

pacientes em estágios iniciais tendem a apresentar maior responsividade terapêutica, possivelmente em razão da preservação parcial das redes sinápticas e da maior capacidade de plasticidade neural residual.

Na esclerose lateral amiotrófica (ELA), a neuromodulação tem sido investigada com foco na modulação da hiperexcitabilidade cortical, considerada um dos marcadores fisiopatológicos centrais da doença. Della Toffola *et al.* (2025) relatam que protocolos de TMS repetitiva podem contribuir para estabilização temporária da progressão funcional, embora os resultados ainda sejam heterogêneos. Laurentino *et al.* (2025), ao descreverem protocolo multicêntrico de ensaio clínico com tDCS de alta definição, destacam a importância da estratificação dos pacientes conforme estágio clínico, comprometimento bulbar e capacidade respiratória, fatores que podem influenciar a resposta à estimulação.

Em pacientes com sequelas de acidente vascular cerebral (AVC), a neuromodulação tem sido amplamente utilizada como adjuvante à reabilitação motora. Markowska e Tarnacka (2024) salientam que a eficácia está relacionada ao equilíbrio inter-hemisférico e ao grau de lesão estrutural, sendo mais expressiva em indivíduos com lesões subcorticais e preservação parcial do córtex motor primário. Beretta *et al.* (2022), em revisão sistemática com metanálise, demonstraram que a tDCS associada à fisioterapia melhora o equilíbrio e reduz o risco de quedas em diferentes distúrbios neurológicos, reforçando o papel da intervenção combinada. Camacho-Conde *et al.* (2021) argumentam que a integração entre neuromodulação e terapias convencionais potencializa a reorganização funcional das redes motoras.

No manejo da dor neuropática crônica, evidências robustas indicam que a estimulação do córtex motor primário promove redução significativa da intensidade dolorosa. Duarte-Moreira *et al.* (2025), em revisão guarda-chuva baseada em evidências, observaram consistência nos efeitos analgésicos da TMS e da tDCS, especialmente em pacientes com dor central pós-AVC e neuropatia periférica. Entretanto, os autores ressaltam que variáveis como duração da dor, etiologia e comorbidades psiquiátricas influenciam os desfechos clínicos, indicando a necessidade de personalização terapêutica.

Nos transtornos psiquiátricos, embora não estritamente neurológicos, a neuromodulação tem sido aplicada em comorbidades frequentes em pacientes neurológicos, como depressão e transtornos de ansiedade. Hyde *et al.* (2022), em metanálise abrangendo 208 ensaios clínicos randomizados, demonstraram eficácia significativa da neuroestimulação em múltiplos transtornos mentais. Sabé *et al.* (2024) reforçam que tanto a TMS quanto a tDCS apresentam benefícios clínicos com baixo risco de eventos adversos graves. Michalopoulou *et al.* (2025) destacam que a resposta terapêutica está associada ao padrão de conectividade funcional prévio, sugerindo que biomarcadores de neuroimagem possam auxiliar na seleção de candidatos ideais.

Em distúrbios de linguagem, como a afasia progressiva primária, Gobbi *et al.* (2025) identificaram melhora em tarefas de nomeação e fluência verbal após protocolos repetidos de TMS e tDCS. Os resultados

sugerem que pacientes com variantes menos extensas da degeneração perisilviana apresentam maior potencial de resposta, reforçando a importância da caracterização clínica e neuroanatômica prévia.

Nos transtornos por uso de substâncias, Chmiel e Kurpas (2025) e Ramos *et al.* (2025) destacam que a estimulação do córtex pré-frontal dorsolateral pode reduzir craving e melhorar controle inibitório, especialmente em indivíduos com maior comprometimento de circuitos de recompensa. Yamada e Sumiyoshi (2021) ressaltam que fatores neuroquímicos, como níveis basais de dopamina e glutamato, podem influenciar a magnitude da resposta clínica.

Adicionalmente, Agrawal *et al.* (2025) demonstram que os efeitos transcriptômicos da tDCS podem apresentar equivalência funcional de longo prazo à TMS, sugerindo que a escolha da técnica pode considerar perfil clínico, disponibilidade e tolerabilidade, sem prejuízo significativo da eficácia em determinadas condições. Barbati, Podda e Grassi (2022) reforçam que a modulação da plasticidade estrutural é dependente do contexto fisiológico e do estado funcional da rede neural estimulada.

A estratificação por perfil do paciente também envolve aspectos sociodemográficos e de aceitabilidade terapêutica. Maier *et al.* (2024) evidenciam que percepção de segurança, expectativa de benefício e compreensão do procedimento influenciam adesão e continuidade do tratamento. Liu *et al.* (2022) destacam que novas abordagens de estimulação não invasiva profunda podem ampliar o espectro de pacientes elegíveis, especialmente em quadros refratários.

De forma sintética, o Quadro 1 apresenta a estratificação das principais evidências clínicas conforme condição neurológica e perfil predominante de resposta.

Quadro 1 – Evidências clínicas da neuromodulação não invasiva estratificadas por condição neurológica e perfil do paciente

Condição Neurológica	Modalidade Predominante	Principais Desfechos	Perfil com Maior Resposta
Doença de Alzheimer	TMS / tDCS	Melhora de memória e funções executivas	Estágios leves a moderados; maior reserva cognitiva
ELA	TMS / tDCS-HD	Modulação da hiperexcitabilidade cortical	Fase inicial; menor comprometimento bulbar
AVC	TMS / tDCS	Recuperação motora e equilíbrio	Dor central pós-AVC; menor comorbidade psiquiátrica
Dor neuropática	TMS / tDCS	Redução da intensidade dolorosa	Lesões subcorticais; preservação parcial cortical
Afasia progressiva	TMS / tDCS	Melhora de nomeação e fluência verbal	Variantes menos extensas; menor atrofia perisilviana
Transtornos por uso de substâncias	tDCS	Redução de craving e melhora do controle inibitório	Maior comprometimento pré-frontal funcional

Fonte: Autoria própria (2026)

Em síntese, as evidências clínicas indicam que a neuromodulação não invasiva apresenta potencial terapêutico significativo quando aplicada de forma estratificada e personalizada. A variabilidade de resposta reforça a necessidade de integração entre avaliação clínica detalhada, caracterização neurobiológica e definição criteriosa de protocolos de estimulação. Assim, a compreensão das especificidades de cada condição neurológica e do perfil individual do paciente constitui elemento central para maximizar a eficácia e consolidar a neuromodulação como ferramenta terapêutica baseada em evidências.

3.2 MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E MODULAÇÃO DA PLASTICIDADE NEURAL

A compreensão dos mecanismos neurobiológicos subjacentes à neuromodulação não invasiva constitui elemento central para a consolidação da TMS e da tDCS como intervenções terapêuticas baseadas em evidências. Embora ambas as técnicas apresentem princípios físicos distintos, convergem quanto à capacidade de modular a excitabilidade cortical, reorganizar redes neurais e induzir

plasticidade sináptica dependente de atividade. Conforme destacam Yamada e Sumiyoshi (2021), os efeitos da tDCS envolvem alterações neurofisiológicas, químicas e anatômicas que transcendem a modulação imediata do potencial de membrana, repercutindo em processos duradouros de reorganização funcional.

No nível neurofisiológico, a TMS atua por meio da indução de correntes elétricas intracorticais capazes de desencadear potenciais de ação e modificar padrões de disparo neuronal. Protocolos de alta frequência tendem a aumentar a excitabilidade cortical, enquanto frequências baixas produzem efeito inibitório, modulando o equilíbrio excitatório-inibitório das redes corticais (Soma, De Graaf e Sack, 2022). Já a tDCS, ao aplicar corrente contínua de baixa intensidade, altera o limiar de disparo neuronal sem necessariamente gerar potenciais de ação diretos, facilitando ou reduzindo a probabilidade de ativação sináptica conforme a polaridade do eletrodo (Yamada e Sumiyoshi, 2021).

Em termos de plasticidade sináptica, ambas as técnicas influenciam mecanismos semelhantes à potenciação de longa duração (LTP) e à depressão de longa duração (LTD), processos fundamentais para aprendizagem e memória. Barbat, Podda e Grassi (2022) ressaltam que a tDCS pode promover remodelamento estrutural, incluindo alterações na densidade de espinhas dendríticas e reorganização de conexões sinápticas, especialmente quando associada a tarefas comportamentais ou reabilitação ativa. Essa interação entre estimulação elétrica e atividade comportamental potencializa a consolidação de redes funcionais adaptativas.

No nível molecular, evidências recentes ampliam a compreensão dos efeitos da neuromodulação sobre vias transcriptômicas e sinalização intracelular. Agrawal *et al.* (2025), ao compararem os efeitos temporais da tDCS e da TMS, demonstraram que ambas podem induzir alterações sustentadas na expressão gênica relacionadas a fatores neurotróficos, como o BDNF (brain-derived neurotrophic factor), proteínas sinápticas e mediadores inflamatórios. Os autores sugerem que, embora os efeitos imediatos das técnicas possam diferir, há convergência em termos de plasticidade molecular de longo prazo.

Além disso, Markowska e Tarnacka (2024) destacam que, em contexto de lesão cerebral isquêmica, a TMS e a tDCS podem modular vias associadas à neuroinflamação, estresse oxidativo e excitotoxicidade glutamatérgica. A redução da hiperexcitabilidade cortical e o restabelecimento do equilíbrio entre neurotransmissores excitatórios e inibitórios constituem mecanismos relevantes na recuperação funcional pós-AVC. Esse efeito é particularmente importante em condições caracterizadas por desregulação do sistema GABAérgico e glutamatérgico.

No campo dos transtornos por uso de substâncias, Chmiel e Kurpas (2025) demonstram que a tDCS aplicada ao córtex pré-frontal dorsolateral modula circuitos dopaminérgicos mesocorticolímbicos, influenciando a atividade do núcleo accumbens e reduzindo craving. Ramos *et al.* (2025) reforçam que tais efeitos estão associados à restauração do controle executivo e à reorganização funcional das redes de recompensa. Esses achados evidenciam que a neuromodulação atua não apenas em áreas corticais

superficiais, mas também indiretamente em estruturas subcorticais por meio de redes conectivas.

Adicionalmente, Michalopoulou *et al.* (2025) ressaltam que a neuromodulação promove reconfiguração de redes neurais em larga escala, influenciando conectividade funcional entre regiões frontais, límbicas e parietais. Essa reorganização sistêmica pode explicar os efeitos clínicos observados em diferentes transtornos neurológicos e psiquiátricos, indicando que o impacto terapêutico vai além da área diretamente estimulada.

A variabilidade interindividual de resposta também possui base neurobiológica. Segundo Desarkar, Vicario e Soltanlou (2024), fatores como espessura cortical, integridade da substância branca, polimorfismos genéticos relacionados ao BDNF e estado basal de excitabilidade influenciam a magnitude e a duração dos efeitos da estimulação. Tal constatação reforça a necessidade de integração entre biomarcadores neurofisiológicos e protocolos personalizados.

A seguir, o Quadro 2 sintetiza os principais mecanismos neurobiológicos associados à TMS e à tDCS, organizados por nível de análise e implicações clínicas.

Quadro 2 – Mecanismos neurobiológicos da neuromodulação não invasiva e implicações na plasticidade neural

Evidências Científicas	Nível de Análise	Mecanismo Principal	Implicações Clínicas
Somaa, De Graaf e Sack (2022); Yamada e Sumiyoshi (2021)	Neurofisiológico	Modulação da Excitabilidade cortical (facilitação ou inibição)	Reequilíbrio excitatório inibitório; controle de hiperexcitabilidade
Barbati, Podda e Grassi (2022)	Sináptico	Indução de LTP/LTD e remodelamento dendrítico	Consolidação de Aprendizagem e recuperação funcional
Agrawal <i>et al.</i> (2025)	Molecular	Alteração na expressão gênica (BDNF, proteínas sinápticas)	Plasticidade de longo prazo e neuroproteção
Chmiel e Kurpas (2025); Markowska e Tarnacka (2024)	Neuroquímico	Modulação glutamatérgica, GABAérgica e dopaminérgica	Redução de craving, dor e sintomas motores
Michalopoulou <i>et al.</i> (2025); Desarkar, Vicario e Soltanlou (2024)	Conectividade em Rede	Reorganização de redes cortico-subcorticais	Melhora cognitiva, motora e comportamental

Fonte: Autoria própria (2026)

Em síntese, os mecanismos neurobiológicos da neuromodulação não invasiva são multifatoriais e interdependentes, envolvendo desde alterações imediatas na excitabilidade neuronal até mudanças estruturais e transcriptômicas sustentadas. A convergência entre TMS e tDCS em vias moleculares e de plasticidade sugere que ambas as técnicas compartilham fundamentos neurobiológicos comuns, ainda que diferenciem-se quanto à intensidade e focalidade do estímulo. A compreensão integrada desses mecanismos fornece base racional para o desenvolvimento de protocolos mais eficazes, direcionados e personalizados, consolidando a neuromodulação como ferramenta estratégica na modulação adaptativa da plasticidade neural.

3.3 MEDICINA PERSONALIZADA, BIOMARCADORES E PERSPECTIVAS FUTURAS

A consolidação da neuromodulação não invasiva no cenário clínico contemporâneo está diretamente relacionada à transição de modelos terapêuticos padronizados para abordagens fundamentadas na medicina personalizada. A variabilidade interindividual observada na resposta à TMS e à tDCS evidencia que fatores clínicos, neuroanatômicos, genéticos e funcionais influenciam significativamente os desfechos terapêuticos. Conforme destacam Desarkar, Vicario e Soltanlou (2024), a heterogeneidade dos resultados clínicos reflete diferenças intrínsecas na organização das redes neurais, exigindo estratégias baseadas em biomarcadores que permitam prever responsividade e otimizar protocolos.

No âmbito dos biomarcadores neurofisiológicos, medidas como potenciais evocados motores, limiar motor cortical, conectividade funcional por ressonância magnética funcional (fMRI) e eletroencefalografia quantitativa (qEEG) têm sido investigadas como ferramentas preditivas. Yamada e Sumiyoshi (2021) ressaltam que o estado basal de excitabilidade cortical influencia diretamente a magnitude da modulação induzida pela tDCS, sugerindo que avaliações prévias possam orientar intensidade e polaridade da estimulação. De maneira complementar, Michalopoulou *et al.* (2025) enfatizam que padrões de conectividade fronto-límbica podem prever resposta em transtornos psiquiátricos, ampliando o escopo da neuromodulação personalizada.

No campo molecular, Agrawal *et al.* (2025) demonstram que a neuromodulação pode induzir alterações transcriptômicas sustentadas, sugerindo que marcadores de expressão gênica relacionados ao BDNF e à plasticidade sináptica possam atuar como indicadores de resposta terapêutica. Markowska e Tarnacka (2024) reforçam que, em condições isquêmicas, biomarcadores inflamatórios e níveis de mediadores oxidativos podem auxiliar na definição do momento ideal para intervenção, maximizando a recuperação funcional.

A integração entre dados clínicos e biomarcadores também se mostra relevante em doenças neurodegenerativas. Fernandes *et al.* (2024) sugerem que maior reserva cognitiva e menor grau de atrofia cortical associam-se a melhores respostas à TMS e à tDCS em pacientes com doença de Alzheimer. De

modo semelhante, Della Toffola *et al.* (2025) apontam que a presença de hiperexcitabilidade cortical mensurável por TMS pode servir como marcador de elegibilidade terapêutica na esclerose lateral amiotrófica.

A perspectiva da medicina personalizada envolve ainda avanços tecnológicos, como sistemas de neuronavegação baseados em neuroimagem estrutural e funcional, permitindo direcionamento preciso da área cortical-alvo. Segundo Liu *et al.* (2022), abordagens de estimulação cerebral profunda não invasiva e técnicas de focalização aprimorada ampliam a capacidade de atingir circuitos específicos com maior precisão anatômica. Essa evolução tecnológica favorece intervenções adaptadas ao perfil individual de conectividade.

Adicionalmente, aspectos relacionados à aceitabilidade, segurança e expectativa terapêutica também influenciam os resultados. Maier *et al.* (2024) destacam que fatores psicossociais, percepção de eficácia e compreensão do tratamento impactam adesão e continuidade, compondo dimensão subjetiva relevante no contexto da personalização terapêutica.

O Quadro 3 sintetiza os principais biomarcadores investigados na neuromodulação não invasiva e suas potenciais aplicações clínicas.

Quadro 3 – Biomarcadores associados à neuromodulação não invasiva e aplicações na medicina personalizada

Categoria de Biomarcador	Exemplos	Evidências Científicas	Aplicação Clínica Potencial
Neurofisiológico	Limiar motor cortical; potenciais evocados; qEEG	Yamada e Sumiyoshi (2021)	Ajuste de intensidade e polaridade da estimulação
Neuroimagem Funcional	Conectividade fronto-límbica; redes motoras	Michalopoulou <i>et al.</i> (2025)	Seleção de área-alvo e previsão de resposta
Molecular/Genético	Expressão de BDNF; marcadores inflamatórios	Agrawal <i>et al.</i> (2025); Markowska e Tarnacka (2024)	Monitoramento de plasticidade e momento ideal de intervenção
Clínico-Estrutural	Grau de atrofia cortical; estágio da doença	Fernandes <i>et al.</i> (2024); Della Toffola <i>et al.</i> (2025)	Estratificação de pacientes e prognóstico terapêutico

Fonte: Autoria própria (2026)

No que se refere às perspectivas futuras, observa-se tendência à combinação da neuromodulação com intervenções comportamentais, farmacológicas e reabilitacionais, potencializando efeitos sinérgicos.

Barbati, Podda e Grassi (2022) destacam que a associação entre estimulação e treinamento cognitivo ou motor favorece consolidação estrutural das redes neurais estimuladas. Essa abordagem integrada amplia o potencial terapêutico e reduz a variabilidade de resposta.

Outra perspectiva emergente envolve o uso de inteligência artificial e aprendizado de máquina para análise de grandes volumes de dados clínicos e neurobiológicos. Conforme argumentam Desarkar, Vicario e Soltanlou (2024), modelos preditivos baseados em múltiplos parâmetros podem auxiliar na definição automatizada de protocolos personalizados, integrando informações clínicas, genéticas e de neuroimagem.

O Quadro 4 apresenta as principais tendências futuras na aplicação clínica da neuromodulação não invasiva.

Quadro 4 – Perspectivas futuras na neuromodulação não invasiva

Eixo de Inovação	Descrição	Potencial Impacto Clínico
Neuronavegação Individualizada	Direcionamento guiado por neuroimagem estrutural e funcional	Maior precisão anatômica e eficácia terapêutica
Protocolos Adaptativos	Ajuste dinâmico de parâmetros conforme resposta clínica	Redução de efeitos adversos e maior taxa de resposta
Integração Multimodal	Associação com farmacoterapia e reabilitação intensiva	Potencialização de plasticidade neural
Inteligência Artificial	Modelos preditivos de resposta baseados em big data	Estratificação personalizada e otimização terapêutica
Estimulação Focal Avançada	Técnicas de alta definição e estimulação profunda não invasiva	Ampliação de indicações e maior especificidade de rede

Fonte: Autoria própria (2026)

Em síntese, a incorporação de biomarcadores e estratégias de medicina personalizada representa etapa crucial para a maturidade científica e clínica da neuromodulação não invasiva. A integração entre dados neurofisiológicos, moleculares, estruturais e comportamentais permite delinear intervenções direcionadas às particularidades de cada paciente, reduzindo a heterogeneidade de resposta e ampliando a eficácia terapêutica. Assim, o futuro da TMS e da tDCS reside na convergência entre tecnologia, neurociência translacional e práticas clínicas individualizadas, consolidando a neuromodulação como componente estratégico da neurologia e da psiquiatria contemporâneas.

4 CONCLUSÃO

A neuromodulação não invasiva, especialmente por meio da estimulação magnética transcraniana (TMS) e da estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS), consolida-se como uma estratégia terapêutica promissora no manejo de condições neurológicas e neuropsiquiátricas. Ao longo desta revisão, evidenciou-se que tais técnicas promovem modulação da excitabilidade cortical e reorganização funcional de redes neurais, contribuindo para a recuperação motora, cognitiva e comportamental. A amplitude de aplicações clínicas observadas entre 2021 e 2025 reforça a expansão do campo e a crescente sofisticação metodológica dos ensaios clínicos.

As evidências clínicas estratificadas por condição neurológica indicam que os efeitos terapêuticos são dependentes tanto do perfil clínico quanto do estágio da doença. Pacientes em fases iniciais, com maior reserva cognitiva ou menor grau de comprometimento estrutural, tendem a apresentar respostas mais robustas à intervenção. Além disso, a integração da neuromodulação com programas de reabilitação intensiva demonstra potencial para potencializar ganhos funcionais, sugerindo que os efeitos da estimulação são amplificados quando associados a estímulos comportamentais dirigidos.

Do ponto de vista neurobiológico, os mecanismos subjacentes envolvem modulação sináptica, alterações na conectividade funcional e regulação de vias moleculares associadas à plasticidade neural, como aquelas mediadas por fatores neurotróficos. A capacidade de induzir plasticidade dependente de atividade posiciona a neuromodulação como ferramenta relevante na reorganização adaptativa do sistema nervoso central. Entretanto, a variabilidade interindividual permanece como um dos principais desafios clínicos, evidenciando a necessidade de abordagens mais individualizadas. Nesse contexto, a incorporação de biomarcadores neurofisiológicos, moleculares e de neuroimagem representa avanço estratégico rumo à medicina personalizada. A utilização de medidas prévias de excitabilidade cortical, conectividade funcional e marcadores inflamatórios ou genéticos pode contribuir para a predição de resposta terapêutica e para a otimização de parâmetros de estimulação. A integração desses dados com ferramentas de inteligência artificial tende a aprimorar a estratificação de pacientes e a seleção de protocolos mais eficazes.

Apesar dos avanços, persistem lacunas relacionadas à padronização de protocolos, definição de doses ideais, duração dos efeitos e acompanhamento longitudinal de longo prazo. Estudos multicêntricos com amostras maiores e desenho metodológico robusto são necessários para fortalecer o nível de evidência e permitir maior generalização dos resultados. Ademais, investigações translacionais que conectem achados moleculares e clínicos podem esclarecer mecanismos ainda pouco compreendidos.

Como sugestão de pesquisa futura, propõe-se a realização de um ensaio clínico randomizado, multicêntrico, que avalie a eficácia de um protocolo adaptativo de neuromodulação guiado por

biomarcadores de conectividade funcional e excitabilidade cortical em pacientes com comprometimento cognitivo leve de etiologia neurodegenerativa. O estudo poderia integrar análise de neuroimagem funcional, dosagem sérica de BDNF e avaliação neuropsicológica longitudinal, comparando protocolo padrão versus protocolo personalizado. Tal delineamento permitiria investigar se a personalização baseada em biomarcadores resulta em maior magnitude e duração dos efeitos terapêuticos, contribuindo para a consolidação da neuromodulação como intervenção de precisão na prática clínica contemporânea.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Bhavya; FEUERMAN, Yael; PANOV, Jonathan; KAPHZAN, Hanoch. From immediate impact to enduring change: a transcriptomic comparison of tDCS's temporal effects and its long-term equivalence with TMS. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 26, 2025.

BARBATI, Stefania; PODDA, Maria; GRASSI, Claudio. Tuning brain networks: the emerging role of transcranial direct current stimulation on structural plasticity. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, v. 16, 2022.

BERETTA, Vanessa; SANTOS, Priscila; ORCIOLI-SILVA, Daiane; ZAMPIER, Vanessa; VITÓRIO, Rodrigo; GOBBI, Lilian. Transcranial direct current stimulation for balance rehabilitation in neurological disorders: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, v. 81, 2022.

CAMACHO-CONDE, Javier; DEL ROSARIO GONZALEZ-BERMUDEZ, Maria; CARRETERO-REY, Marta; KHAN, Zahid. Brain stimulation: a therapeutic approach for the treatment of neurological disorders. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, v. 28, p. 5–18, 2021.

CHMIEL, Joanna; KURPAS, Donata. Neurobiological mechanisms of action of transcranial direct current stimulation in the treatment of substance use disorders: a review. *Journal of Clinical Medicine*, v. 14, 2025.

DELLA TOFFOLA, Jacopo; RICCI, Elena; QUAGLIOTTO, Marco; MANGANOTTI, Paolo; BENUSSI, Alberto. Non-invasive brain stimulation for amyotrophic lateral sclerosis: current evidence and future perspectives. *Medicina*, v. 61, 2025.

DESARKAR, Partha; VICARIO, Carmelo; SOLTANLOU, Maria. Non-invasive brain stimulation in research and therapy. *Scientific Reports*, v. 14, 2024.

DUARTE-MOREIRA, Ricardo; SHIRAHIGE, Leticia; RODRIGUEZ-PRIETO, Ignacio; ALVES, Marina; LOPES, Tiago; BAPTISTA, Rita; HAZIME, Flavia; ZANA, Yumi; KUBOTA, Guilherme; DE ANDRADE, Daniel; YENG, Lin; TEIXEIRA, Manoel; DE ARAGÃO DÁQUER, Eduardo; SÁ, Karina; MONTE-SILVA, Katia; BAPTISTA, Andre. Evidence-based umbrella review of non-invasive neuromodulation in chronic neuropathic pain. *European Journal of Pain*, v. 29, 2025.

FERNANDES, Sara; MENDES, Ana; RODRIGUES, Pedro; CONDE, Ana; ROCHA, Mariana; LEITE, Joana. Efficacy and safety of repetitive transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation in memory deficits in patients with Alzheimer's disease: meta-analysis and systematic review. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, v. 24, 2024.

GOBBI, Elisa; PAGNONI, Ilaria; CAMPANA, Elisa; MANENTI, Roberto; COTELLI, Maria. Efficacy of transcranial magnetic stimulation and transcranial direct-current stimulation in primary progressive aphasia treatment: a review. *Brain Sciences*, v. 15, 2025.

HYDE, James; CARR, Helen; KELLEY, Natalie; SENEVIRATNE, Ruwan; REED, Charlotte; PARLATINI, Valeria; GARNER, Matthew; SOLMI, Francesco; ROSSON, Silvia; CORTESE, Samuele; BRANDT, Valentina. Efficacy of neurostimulation across mental disorders: systematic review and meta-analysis of 208 randomized controlled trials. *Molecular Psychiatry*, v. 27, p. 2709–2719, 2022.

LAURENTINO, Eduardo; DA SILVA, Victor; MENESES, Wellington; DA COSTA, Luiz; OTTO-YÁÑEZ, Manuel; VERA-URIBE, Rodrigo; TORRES-CASTRO, Rodrigo; DE SOUSA, Bruno; DE ABREU FREITAS, Rafael; MATEUS, Samuel; DE VASCONCELLOS, Igor; FRANCO, Hugo; NAGEM, Daniel; DE MEDEIROS VALENTIM, Rafael; JÚNIOR, Marcos; LINDQUIST, Alexander; ANDRADE, Silvia; FONSECA, Juliana; RESQUETI, Vanessa; DE FREITAS FREGONEZI, Guilherme. High-definition transcranial direct current stimulation therapy in amyotrophic lateral sclerosis: study protocol for a multicenter randomized controlled clinical trial. *Journal of Clinical Medicine*, v. 14, 2025.

LIU, Xiaolong; QIU, Feng; HOU, Lei; WANG, Xiaoying. Review of noninvasive or minimally invasive deep brain stimulation. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, v. 15, 2022.

MAIER, Maximilian; RAMASAWMY, Praveen; BREUER, Johannes; BANSEN, Annika; OLIVIERO, Antonio; NORTOFF, Georg; ANTAL, Andrea. Stakeholder perspectives on non-invasive brain stimulation. *Scientific Reports*, v. 14, 2024.

MARKOWSKA, Anna; TARNACKA, Bożena. Molecular changes in the ischemic brain as non-invasive brain stimulation targets—TMS and tDCS mechanisms, therapeutic challenges, and combination therapies. *Biomedicines*, v. 12, 2024.

MICHALOPOULOU, Panagiota; MESHREKY, Kareem; HOMMERICH, Zoe; SHERGILL, Sukhi. Neuromodulation and neural networks in psychiatric disorders: current status and emerging prospects. *Psychological Medicine*, v. 55, 2025.

OYOVWI, Monday; BABAWALE, Kehinde; JEROH, Emmanuel; BEN-AZU, Blessing. Exploring the role of neuromodulation in neurodegenerative disorders: insights from Alzheimer's disease and Parkinson's disease. *Brain Disorders*, 2025.

RAMOS, Pedro; REIS, Ana; FREIRE, Mariana; MENDES, Sofia. Mechanisms and efficacy of transcranial stimulation technologies in substance use disorders: a focus on prefrontal cortex stimulation. *European Psychiatry*, v. 68, p. S1052–S1052, 2025.

SABÉ, Miguel; HYDE, James; CRAMER, Christoph; EBERHARD, Annika; CRIPPA, Andrea; BRUNONI, Andre; ALEMAN, André; KAISER, Stefan; BALDWIN, David; GARNER, Matthew; SENTISSI, Omar; FIEDOROWICZ, Joseph; BRANDT, Valentina; CORTESE, Samuele; SOLMI, Francesco. Transcranial magnetic stimulation and transcranial direct current stimulation across mental disorders. *JAMA Network Open*, v. 7, 2024.

SOMAA, Farah; DE GRAAF, Tom; SACK, Alexander. Transcranial magnetic stimulation in the treatment of neurological diseases. *Frontiers in Neurology*, v. 13, 2022.

NEUROMODULAÇÃO NÃO INVASIVA (TMS E TDCS) NO TRATAMENTO DE DOENÇAS NEUROLÓGICAS:
EVIDÊNCIAS CLÍNICAS, MECANISMOS NEUROBIOLÓGICOS E PERSPECTIVAS

WANG, Chao; CHANG, Wei; YANG, Yi; CHENG, Kuo. Comparing transcranial direct current stimulation with other non-invasive brain stimulation in the treatment of Alzheimer's disease: a literature review. *Journal of Medical and Biological Engineering*, v. 43, p. 362–375, 2023.

YAMADA, Yoshihiro; SUMIYOSHI, Toshifumi. Neurobiological mechanisms of transcranial direct current stimulation for psychiatric disorders: neurophysiological, chemical, and anatomical considerations. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 15, 2021.