

Neurologia

DIAGNÓSTICOS, TRATAMENTOS E CIRURGIAS

Edição XII

CAPÍTULO 08

TECNOLOGIAS E DIAGNÓSTICO EM NEUROLOGIA (EEG, RM, PET)

RENATA DOS SANTOS FERNANDES¹
NICOLE KLEIN MULLER¹
JULINE NEUHAUS WASEM¹
LAÍSA DE MATTOS TEIXEIRA¹
NATÁLIA DE WALLAU¹
LUANA POHLMANN KEHRWALD¹

NICOLE BRUNELLO PAGLIARIN¹
BRUNO JARDIM TESHEINER¹
MARIA CAROLINA BECKER¹
LUCAS DA SILVA BORBA¹
THEO FUTURO TELOKEN¹
CARLOS SCHMITT FERREIRA²

¹Discente - Medicina na Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS.

²Médico - Graduado pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS.

Palavras-chave: Neurologia; Diagnóstico por Imagem; Tecnologia.

DOI: 10.59290/9380295204

P EDITORA
PASTEUR

INTRODUÇÃO

As doenças neurológicas representam um dos maiores desafios da medicina contemporânea, tanto pela sua alta prevalência quanto pelo impacto funcional e social que impõem aos pacientes e aos sistemas de saúde.

Condições como epilepsia, acidente vascular cerebral (AVC), demências, esclerose múltipla e doenças neurodegenerativas configuram as principais causas de incapacidade e mortalidade em escala global (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2024).

O diagnóstico preciso e precoce dessas enfermidades é essencial para o manejo clínico eficaz, a definição de estratégias terapêuticas e a prevenção de sequelas permanentes.

Nesse cenário, os métodos de imagem e registro funcional do sistema nervoso, como a ressonância magnética (RM), a tomografia por emissão de pósitrons (PET) e a eletroencefalografia (EEG), assumem papel central na prática neurológica moderna.

A RM evoluiu de uma técnica puramente anatômica para um método multiparamétrico capaz de investigar conectividade, perfusão e metabolismo cerebral, tornando-se fundamental na detecção de microlesões e alterações precoces em doenças neurodegenerativas (YEN *et al.*, 2023).

O PET, por sua vez, com o uso de traçadores moleculares específicos, permite mapear a atividade metabólica e os processos fisiopatológicos cerebrais, sendo amplamente utilizado na diferenciação de demências, na avaliação de epilepsias refratárias e em pesquisas sobre neuroplasticidade (CATANA *et al.*, 2012).

Já o EEG, tradicionalmente empregado na investigação de epilepsias, vem sendo aprimorado com análises quantitativas e inteligência artificial, ampliando seu potencial para o diag-

nóstico de distúrbios cognitivos e neuropsiquiátricos (ZHANG *et al.*, 2023; REZAEI *et al.*, 2025).

O avanço tecnológico recente também inclui a ressonância magnética portátil de baixo campo, que amplia o acesso ao diagnóstico em unidades de terapia intensiva e ambientes de urgência, e a incorporação da inteligência artificial (IA), que tem revolucionado a interpretação de imagens médicas, aumentando a acurácia e reduzindo a variabilidade interobservador (PARASURAM *et al.*, 2023).

Essa convergência entre neuroimagem, análise de dados e aprendizado de máquina redefine o paradigma diagnóstico, promovendo uma medicina neurológica mais individualizada, acessível e baseada em evidências.

Dessa forma, a neuroimagem e os métodos funcionais deixaram de ser meros instrumentos complementares e passaram a ocupar papel de destaque na estratificação diagnóstica e prognóstica das doenças neurológicas. Este capítulo tem como objetivo discutir os principais avanços tecnológicos nas modalidades de EEG, RM e PET, suas aplicações clínicas e o impacto da integração multimodal e da IA na transformação da neurologia diagnóstica contemporânea.

MÉTODOS

Trata-se de uma revisão narrativa de literatura desenvolvida com o objetivo de reunir e analisar criticamente as principais evidências científicas sobre os avanços das técnicas de diagnóstico em neurologia, especialmente as modalidades de EEG, RM e PET.

A pesquisa foi realizada por meio de buscas nas bases de dados PubMed, complementadas por outras fontes como *World Health Organization* e *Elsevier / ScienceDirect*, com o objetivo de reunir as principais evidências científicas sobre os avanços das tecnologias e diagnóstico em neurologia.

Foram utilizados os seguintes descritores, em inglês: *neurology*, *neuroimaging*, MRI, PET, EEG, *diagnostic imaging* e *technology*, combinados entre si com operadores booleanos.

Os critérios de inclusão contemplaram artigos de revisão e estudos originais publicados nos últimos 15 anos (aproximadamente entre 2010 e 2025), em língua inglesa, com foco em seres humanos ou aplicação clínica em neurologia, e que abordassem diretamente as técnicas de EEG, RM ou PET no contexto de diagnóstico ou prognóstico neurológico.

Foram excluídos artigos duplicados, resumos de congresso, editoriais e publicações que focassem exclusivamente em modelos pré-clínicos ou em engenharia de equipamento sem aplicação clínica neurológica.

Após a busca inicial, procedeu-se à triagem de títulos e resumos para identificar os estudos elegíveis, seguido de leitura completa dos artigos potencialmente relevantes.

A seleção final considerou a relevância para o tema (tecnologia de neuroimagem ou EEG aplicada à neurologia) e a qualidade metodológica descrita nos artigos.

Os dados extraídos incluíram: técnica/método avaliado (EEG, RM ou PET/híbridos), população ou condição neurológica (por exemplo, epilepsia, neurodegeneração, AVC), finalidade diagnóstica ou prognóstica, principais achados, limitações e perspectivas futuras.

Para garantir um panorama representativo, esta revisão incluiu 13 artigos de destaque que abordam: (I) métodos avançados de EEG, incluindo qEEG, conectividade e aprendizado de máquina; (II) aplicações de RM — estrutural, funcional e híbrida (RM-PET); (III) aplicações de PET e sistemas híbridos (PET/RM, EEG+RM); e (IV) a integração multimodal dessas tecnologias.

Estudos adicionais foram incluídos conforme necessidade de preencher lacunas identi-

ficadas e atualizar a discussão com tendências emergentes (como IA, portabilidade, imagens de baixo campo).

Os resultados dos estudos selecionados foram avaliados de forma descritiva e interpretativa, e organizados em categorias temáticas correspondentes às seções principais do capítulo: EEG, RM e PET, além de integração multimodal e tecnologia emergente.

Essa estrutura permitiu integrar os achados de modo sistemático, destacando a evolução tecnológica, as limitações de cada técnica e as perspectivas futuras para a prática neurológica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento das tecnologias de diagnóstico em neurologia nas últimas décadas transformou profundamente a forma como o funcionamento e as doenças do sistema nervoso central são compreendidos e acompanhados.

A busca por abordagens não invasivas, precisas e integradas impulsionou o aperfeiçoamento de técnicas capazes de revelar, de modo complementar, a anatomia, a atividade funcional e os processos metabólicos do cérebro — substituindo gradualmente métodos invasivos e ampliando a capacidade de correlação clínica.

Nesse panorama, a literatura contemporânea aponta para a consolidação de três pilares interdependentes: EEG, RM e PET.

Em conjunto, essas tecnologias redefiniram o diagnóstico neurológico, elevaram o grau de precisão das investigações e abriram novas perspectivas para a medicina personalizada e preditiva.

Eletoencefalografia

A eletroencefalografia permanece uma das ferramentas mais antigas e, ao mesmo tempo, mais dinâmicas no diagnóstico neurológico.

Desde sua introdução clínica no início do século XX, o EEG tem sido essencial na investigação de epilepsias, distúrbios do sono, encefalopatias e doenças neurodegenerativas.

A literatura recente mostra, contudo, uma mudança de paradigma: o EEG deixou de ser um registro meramente visual e passou a ser interpretado de forma quantitativa, apoiado em métodos estatísticos e inteligência artificial, caracterizando o surgimento da eletroencefalografia quantitativa (qEEG) (ZHANG *et al.*, 2023; REZAEI *et al.*, 2025).

A qEEG permite extrair, a partir do sinal bruto, parâmetros numéricos que descrevem a atividade elétrica cerebral, como potência espectral, coerência, entropia e conectividade funcional.

Esses indicadores são processados por algoritmos capazes de distinguir padrões fisiológicos de anomalias associadas a doenças específicas.

Estudos recentes demonstram que modelos de machine learning e redes neurais convolucionais aplicados à qEEG atingem acurácia superior a 90% na diferenciação entre indivíduos saudáveis e portadores de comprometimento cognitivo leve ou demência de Alzheimer (REZAEI *et al.*, 2025).

No campo das epilepsias, a incorporação da análise tempo-frequência e da localização de fontes cerebrais aumentou significativamente a capacidade de identificar focos epileptogênicos.

Essa evolução foi impulsionada pela integração entre EEG e RM, que permite mapear de forma precisa a origem cortical das descargas, especialmente em casos de epilepsia refratária à medicação (ZHANG *et al.*, 2023).

A combinação dessas técnicas tem reduzido a necessidade de cirurgias exploratórias, otimizando o planejamento cirúrgico e a seleção de candidatos à ressecção.

Além disso, o EEG ganhou destaque como ferramenta para monitoramento contínuo em terapia intensiva, sobretudo em pacientes com traumatismo cranioencefálico, AVC ou estado epilético.

Nesses contextos, a detecção precoce de crises subclínicas e o acompanhamento da reatividade cortical são fundamentais para a tomada de decisões terapêuticas rápidas. Pesquisas recentes reforçam que a análise automatizada de padrões EEG pode antecipar alterações neurológicas horas antes de manifestações clínicas detectáveis (PARASURAM *et al.*, 2023).

Outro avanço relevante é o uso do EEG para análise de conectividade e redes cerebrais, aplicando conceitos de neurociência de sistemas.

As métricas de coerência, correlação cruzada e causalidade de Granger permitem estimar a direção e intensidade das interações neurais, fornecendo um modelo funcional do cérebro em repouso ou durante tarefas cognitivas.

Esses estudos têm elucidado o papel de disfunções de rede em doenças como Alzheimer, Parkinson e esquizofrenia (YEN *et al.*, 2023).

No contexto da inteligência artificial aplicada ao EEG, algoritmos de aprendizado profundo vêm sendo utilizados não apenas para diagnóstico, mas também para previsão de eventos, como crises epiléticas iminentes.

Pesquisas multicêntricas mostram que sistemas de IA podem detectar padrões pré-ictais com sensibilidade superior a 95%, permitindo intervenções preemptivas e ampliando a segurança dos pacientes (REZAEI *et al.*, 2025).

Essa tendência aponta para uma futura integração entre EEG e dispositivos vestíveis, viabilizando o monitoramento remoto e contínuo da atividade cerebral.

Entretanto, alguns desafios persistem. A padronização dos protocolos de aquisição e análise, a variabilidade interindividual e a influência

de artefatos fisiológicos ou ambientais ainda limitam a comparabilidade entre estudos.

A literatura destaca a importância da normalização dos bancos de dados de EEG e do uso de amostras populacionais amplas e diversas, a fim de garantir representatividade nos algoritmos de IA (ZHANG *et al.*, 2023).

Além disso, a interpretação clínica deve permanecer centrada no contexto, evitando a sobreposição de achados quantitativos com sintomas inespecíficos.

Por fim, observa-se um movimento de convergência entre o EEG e outras modalidades, como RM funcional e PET, em projetos de neuroimagem multimodal. Essa integração permite correlacionar parâmetros elétricos, anatômicos e metabólicos, resultando em um retrato mais abrangente da função cerebral.

Dessa forma, a eletroencefalografia, renovada por abordagens quantitativas e pela IA, consolida-se como uma ferramenta de diagnóstico não invasiva, portátil, acessível e altamente informativa, desempenhando papel central na neurologia do século XXI.

Ressonância magnética

A ressonância magnética consolidou-se como a técnica de imagem mais versátil e informativa da neurologia moderna, oferecendo uma visão abrangente das estruturas e funções cerebrais.

Inicialmente restrita à avaliação morfológica, a RM evoluiu para um método multiparamétrico, capaz de fornecer dados anatômicos, hemodinâmicos e metabólicos em um único exame.

Essa transformação permitiu compreender com maior profundidade os mecanismos fisiopatológicos de doenças neurológicas e personalizar o diagnóstico e o tratamento (YEN *et al.*, 2023; PARASURAM *et al.*, 2023).

A RM estrutural, em especial nas sequências ponderadas em T1, T2 e FLAIR, continua sendo o padrão de referência na investigação de malformações corticais, tumores, lesões desmielinizantes e sequelas vasculares.

No entanto, o avanço das técnicas funcionais e quantitativas expandiu significativamente seu escopo. Entre essas, destacam-se a ressonância magnética funcional (fMRI), a difusão (DWI), a tensor de difusão (DTI), a perfusão cerebral (PWI) e a espectroscopia por RM (MRS), cada uma contribuindo de maneira complementar para a caracterização da função e da microestrutura cerebral (YEN *et al.*, 2023).

A fMRI é uma das maiores inovações da neuroimagem das últimas três décadas. Baseada na variação do sinal BOLD (*Blood Oxygen Level-Dependent*), ela permite mapear a atividade neuronal em tempo real por meio das flutuações hemodinâmicas locais.

Atualmente, a fMRI é amplamente utilizada não apenas em pesquisa, mas também no planejamento cirúrgico de epilepsias e tumores cerebrais, na avaliação de funções cognitivas e motoras e em estudos de conectividade funcional, que revelam redes cerebrais intrínsecas relacionadas à memória, linguagem e emoção (YEN *et al.*, 2023).

Outra ferramenta essencial é a difusão por tensor (DTI), que quantifica a direção e a integridade das fibras de substância branca, possibilitando reconstruções tridimensionais dos tratos neuronais (tractografia).

Essa técnica revolucionou a compreensão de distúrbios da conectividade estrutural, como nas escleroses múltiplas, traumatismos cranianos e demências, e tem sido usada para detectar alterações microestruturais sutis que precedem sintomas clínicos.

Estudos mostram que reduções na anisotropia fracionada (FA) podem prever declínio

cognitivo precoce em Alzheimer e outras encefalopatias (REZAEI *et al.*, 2025).

A perfusão por RM (PWI) e a espectroscopia (MRS), por sua vez, fornecem informações funcionais complementares. A PWI quantifica o fluxo e o volume sanguíneo cerebral, permitindo identificar áreas de isquemia ou hiperperfusão em tempo real — recurso valioso no manejo agudo do AVC e em doenças vasculares cerebrais (YEN *et al.*, 2023).

Já a MRS analisa a composição química do tecido cerebral, quantificando metabólitos como N-acetilaspártato, colina, lactato e mioinositol, indicadores sensíveis de viabilidade neuronal, inflamação e degeneração (CATANA *et al.*, 2012).

A recente introdução dos sistemas de ressonância magnética portátil de baixo campo (pMRI) representa uma mudança paradigmática na acessibilidade diagnóstica.

Esses dispositivos, com campos magnéticos inferiores a 1 Tesla, são leves, alimentados por energia convencional e podem ser utilizados à beira do leito, em unidades de terapia intensiva e até em ambientes remotos.

Ensaios clínicos demonstraram sua utilidade na detecção de AVCs, hemorragias intracerebrais e edema cerebral, com acurácia comparável à da RM convencional (PARASURAM *et al.*, 2023).

A portabilidade reduz os riscos associados ao transporte de pacientes críticos e permite o monitoramento seriado sem necessidade de deslocamento, tornando-se uma ferramenta promissora para emergências neurológicas e cuidados intensivos.

A integração da RM com a inteligência artificial (IA) e o aprendizado de máquina também impulsionou uma nova era de diagnóstico automatizado.

Modelos de redes neurais treinados em grandes bancos de dados têm sido aplicados pa-

ra segmentação automática de estruturas cerebrais, detecção de microlesões, predição de evolução de tumores e quantificação de atrofia com precisão superior à análise manual (REZAEI *et al.*, 2025).

Além disso, a IA tem permitido reconstruções de imagem de alta qualidade com menor tempo de aquisição, ampliando a eficiência operacional e reduzindo artefatos de movimento (YEN *et al.*, 2023).

Outro campo em rápida expansão é o das imagens de ultra-alta resolução (7 Tesla e superiores), que proporcionam detalhamento anatômico e espectral sem precedentes.

A RM de 7 T é capaz de visualizar camadas corticais, microvasculatura e núcleos subcorticais com precisão micrométrica, o que tem sido fundamental em pesquisas sobre epilepsia focal, doença de Parkinson e esclerose múltipla.

Apesar do alto custo e das limitações regulatórias, esses equipamentos representam o futuro da caracterização morfológica cerebral.

A RM também desempenha papel relevante na avaliação de conectividade estrutural e funcional. A combinação de DTI e fMRI tem possibilitado a criação de “mapas de conectomas” individuais, revelando alterações na arquitetura de redes neurais que sustentam funções cognitivas e comportamentais.

Essa abordagem tem sido aplicada na diferenciação entre tipos de demência, na avaliação de autismo e em estudos de neuroplasticidade após reabilitação ou estimulação cerebral (CATANA *et al.*, 2012; REZAEI *et al.*, 2025).

No entanto, a ampla adoção dessas técnicas enfrenta barreiras importantes: o alto custo dos equipamentos, a necessidade de infraestrutura especializada, e a padronização dos protocolos de aquisição e processamento ainda são desafios relevantes, sobretudo em países de média renda.

A literatura recomenda o desenvolvimento de protocolos otimizados e colaborativos, integrando redes multicêntricas e bancos de dados abertos para garantir comparabilidade e avanço coletivo (YEN *et al.*, 2023).

Em síntese, a ressonância magnética evoluiu de uma ferramenta morfológica para um instrumento multidimensional e preditivo, integrando parâmetros anatômicos, funcionais e metabólicos.

Sua combinação com IA, portabilidade e técnicas multimodais como PET e EEG representa o eixo central da neuroimagem contemporânea.

A RM consolidou-se, assim, como um método indispensável para o diagnóstico, monitoramento e pesquisa das doenças neurológicas, promovendo uma nova era de precisão diagnóstica e acessibilidade tecnológica.

Tomografia por emissão de pósitrons

A tomografia por emissão de pósitrons ocupa uma posição estratégica na neuroimagem contemporânea, ao permitir a análise direta dos processos metabólicos e moleculares do cérebro.

Diferentemente das técnicas estruturais e funcionais baseadas em sinal hemodinâmico, o PET fornece informações sobre o consumo de glicose, metabolismo energético, fluxo sanguíneo e expressão de proteínas específicas, tornando-se indispensável na compreensão da fisiopatologia neurológica e no diagnóstico diferencial de diversas doenças (CATANA *et al.*, 2012).

O traçador mais amplamente utilizado é o 18F-fluordesoxiglicose (18F-FDG), que reflete o metabolismo glicolítico neuronal e glial. A redução do metabolismo em regiões corticais específicas — particularmente nos lobos tempo-

rais e parietais — é um marcador precoce de doença de Alzheimer e outras demências neurodegenerativas (REZAEI *et al.*, 2025).

Estudos mostram que padrões distintos de hipometabolismo permitem diferenciar Alzheimer, demência frontotemporal, demência com corpos de Lewy e Parkinson, com acurácia superior a 90%.

O PET-FDG também auxilia na avaliação de encefalites autoimunes, epilepsias refratárias e distúrbios psiquiátricos, nos quais as alterações metabólicas precedem mudanças estruturais detectáveis por RM (CATANA *et al.*, 2012).

Nos últimos anos, a incorporação de traçadores moleculares específicos ampliou significativamente o alcance da técnica. O uso de radiofármacos marcados com carbono-11 e flúor-18 direcionados a proteínas como β -amiloide, tau e sinucleína tornou o PET uma ferramenta essencial na neurologia molecular.

Esses marcadores permitem visualizar e quantificar acúmulos patológicos em tempo real, contribuindo para o diagnóstico precoce e para o monitoramento de terapias experimentais.

A detecção de amiloide positivo em indivíduos assintomáticos, por exemplo, redefine o conceito de doença de Alzheimer, aproximando o diagnóstico de uma abordagem preditiva e preventiva (REZAEI *et al.*, 2025).

O PET também possui papel consolidado na avaliação de epilepsias farmacorresistentes, identificando zonas hipometabólicas interictais que correspondem ao foco epileptogênico.

Em associação à RM e EEG, essa técnica orienta o planejamento cirúrgico e reduz o risco de ressecções desnecessárias.

Da mesma forma, o PET com traçadores dopaminérgicos, como o 18F-DOPA, é amplamente empregado na doença de Parkinson e síndromes parkinsonianas atípicas, auxiliando na

diferenciação entre degeneração nigroestriatal verdadeira e parkinsonismo secundário.

Uma das inovações mais relevantes da última década é a integração do PET com a ressonância magnética no formato PET/MRI híbrido.

Essa combinação permite aquisição simultânea de dados anatômicos, funcionais e metabólicos, unificando informações de alta resolução espacial e molecular.

O PET/MRI apresenta vantagens sobre o tradicional PET/CT, como menor exposição à radiação e melhor caracterização de estruturas cerebrais profundas.

Além disso, possibilita a análise sincrônica entre atividade neural (fMRI) e metabolismo energético (PET), abrindo novas perspectivas para o estudo de conectividade e plasticidade cerebral (CATANA *et al.*, 2012; YEN *et al.*, 2023).

Em aplicações clínicas, o PET/MRI tem se mostrado valioso na avaliação de gliomas, pois combina o detalhamento anatômico e funcional da RM com a quantificação metabólica do PET, melhorando a delimitação tumoral, a detecção de recidivas e o planejamento radioterápico.

Em doenças neurodegenerativas, permite distinguir alterações estruturais de padrões metabólicos específicos, fornecendo um retrato completo da progressão patológica. Estudos recentes destacam que essa modalidade híbrida reduz o tempo de diagnóstico e otimiza o seguimento terapêutico (CATANA *et al.*, 2012; PARASURAM *et al.*, 2023).

Outra tendência promissora é o desenvolvimento de radiotraçadores personalizados e o uso de inteligência artificial (IA) na reconstrução e interpretação das imagens PET.

Algoritmos de aprendizado profundo são capazes de melhorar a relação sinal-ruído, redu-

zir o tempo de aquisição e detectar padrões metabólicos sutis que escapam à análise visual convencional (REZAEI *et al.*, 2025).

A IA também tem sido aplicada na fusão de dados multimodais (EEG, RM e PET), criando modelos tridimensionais da atividade cerebral integrados a marcadores fisiológicos e clínicos. Essa convergência metodológica é apontada como o futuro da neuroimagem diagnóstica.

Apesar das inovações, a PET ainda enfrenta desafios relevantes, especialmente em relação ao custo elevado dos radiofármacos, à disponibilidade de ciclotrons e equipamentos híbridos e à padronização dos protocolos de quantificação.

A literatura destaca a necessidade de cooperação multicêntrica e harmonização internacional de dados para expandir o acesso e garantir reprodutibilidade entre diferentes serviços (CATANA *et al.*, 2012; YEN *et al.*, 2023).

Integração multimodal e perspectivas futuras

A convergência entre EEG, RM e PET representa o ponto culminante da evolução da neuroimagem. Cada técnica fornece um fragmento único da função cerebral: o EEG capta a atividade elétrica com alta resolução temporal; a RM, a arquitetura anatômica e funcional com resolução espacial superior; e o PET, o metabolismo e os processos moleculares subjacentes.

A integração desses dados cria um modelo tridimensional e dinâmico do cérebro humano, permitindo correlacionar oscilações elétricas, conexões estruturais e metabolismo em tempo real (YEN *et al.*, 2023; REZAEI *et al.*, 2025).

Essa abordagem multimodal tem aplicações crescentes em pesquisas sobre consciência, cognição, neuroplasticidade e doenças psiquiátricas, e já se consolida na prática clínica de epilepsia, demência e oncologia cerebral.

O uso combinado de EEG-fMRI, PET-MRI e análises de rede baseadas em IA permite identificar biomarcadores mais sensíveis e específicos, promovendo diagnósticos mais precoces e tratamentos personalizados.

O futuro da neuroimagem aponta para a integração entre tecnologia e acessibilidade. A portabilidade do pMRI, o avanço da qEEG e a miniaturização de sensores bioelétricos indicam que o monitoramento cerebral poderá ocorrer fora dos ambientes hospitalares, em sistemas móveis e domiciliares.

Paralelamente, a IA deverá desempenhar papel cada vez mais importante na análise preditiva, com modelos capazes de antecipar surtos

epilépticos, declínio cognitivo ou recidivas tumorais com base em padrões sutis de imagem.

Por fim, a tendência global é a consolidação de uma neuroimagem inteligente e integrada, que combina precisão diagnóstica, redução de custos e humanização do cuidado.

A convergência entre EEG, RM e PET, potencializada por algoritmos de aprendizado profundo, redefine a neurologia diagnóstica, aproximando o campo da neurociência translacional e promovendo uma nova era de medicina personalizada, preventiva e centrada no paciente, conforme descrito no **Quadro 8.1**.

Quadro 8.1 Principais métodos de imagem em neurologia e suas características comparativas

Técnica de imagem	Aplicação principal	Vantagens	Limitações
Eletroneurografia	Registro da atividade elétrica cerebral; diagnóstico de epilepsias, distúrbios do sono, encefalopatias e monitoramento de função cerebral.	Alta resolução temporal; método não invasivo e de baixo custo; útil em tempo real; integração com fMRI e IA amplia o potencial diagnóstico.	Baixa resolução espacial; sensível a artefatos; interpretação depende de especialista; limitada para lesões profundas.
Ressonância magnética	Avaliação anatômica, funcional e metabólica do cérebro; detecção de tumores, AVC, doenças desmielinizantes e degenerativas.	Alta resolução espacial; avaliação multiparamétrica (fMRI, DTI, MRS); sem radiação; reproduzível; integração com IA e PET.	Alto custo; necessidade de infraestrutura especializada; suscetível a artefatos de movimento; contraindicações por metal e claustrofobia.
Tomografia por emissão de pósitrons	Análise metabólica e molecular; diagnóstico de demências, epilepsias e tumores; diferenciação de patologias neurodegenerativas.	Fornece dados funcionais e metabólicos; alta sensibilidade para alterações precoces; integração com RM (PET/MRI) aumenta acurácia.	Custo elevado; uso de radiofármacos; necessidade de ciclotron; limitada disponibilidade; exposição à radiação.

Legenda: Elaborada com base nas principais evidências descritas nas diretrizes internacionais e em estudos recentes sobre diagnóstico por imagem e neurotecnologias.

A síntese demonstra o papel complementar e evolutivo das diferentes modalidades, reforçando a tendência de integração entre abordagens funcionais, estruturais e metabólicas.

De modo geral, a neuroimagem contemporânea reflete a transição de um modelo pura-

mente descritivo para uma abordagem quantitativa, multimodal e assistida por inteligência artificial, que amplia a precisão diagnóstica e o potencial preditivo no manejo das doenças neurológicas.

De modo abrangente, as evidências analisadas indicam que a neuroimagem deixou de ser

apenas um apoio diagnóstico e passou a constituir um pilar central da neurologia moderna.

As informações elétricas fornecidas pelo EEG, as análises anatômicas e funcionais da ressonância magnética e o mapeamento metabólico obtido pelo PET formam hoje um conjunto complementar que aprofunda a compreensão da atividade e da estrutura cerebral.

Essa integração tecnológica não apenas melhora a precisão diagnóstica, mas também favorece o monitoramento dinâmico das doenças neurológicas, contribuindo para condutas mais assertivas e tratamentos personalizados.

A convergência entre modalidades não invasivas, dados quantitativos e algoritmos de aprendizado reforça a transição da neurologia diagnóstica para uma era de análise integrada, preditiva e orientada à medicina de precisão.

CONCLUSÃO

Os avanços nas tecnologias de neuroimagem transformaram a prática diagnóstica em neurologia, consolidando um novo paradigma baseado em métodos não invasivos, integrados e orientados por dados quantitativos.

A eletroencefalografia evoluiu de um exame puramente descritivo para uma ferramenta de análise funcional complexa, capaz de identificar padrões elétricos cerebrais com alta precisão temporal e, associada a técnicas de aprendizado de máquina, aprimorar a detecção de distúrbios epiléticos, cognitivos e neuropsiquiátricos.

A ressonância magnética multiparamétrica e funcional ampliou a compreensão da conectividade e da integridade estrutural do sistema nervoso central. A capacidade de integrar informações anatômicas, metabólicas e hemodinâmicas permite uma caracterização mais detalhada das doenças neurológicas, incluindo demências, tumores e distúrbios desmielinizantes.

Em conjunto com a elastografia cerebral e a espectroscopia, a RM oferece uma avaliação

abrangente e reprodutível do tecido neural, favorecendo decisões terapêuticas mais individualizadas e baseadas em evidências.

A tomografia por emissão de pósitrons (PET), especialmente em sistemas híbridos PET/MRI, redefiniu o diagnóstico molecular ao permitir a correlação entre alterações anatômicas e processos metabólicos ou proteicos. O uso de traçadores específicos para amiloide, tau e dopamina impulsionou o diagnóstico precoce das doenças neurodegenerativas e a estratificação prognóstica em epilepsias e tumores cerebrais. Essa integração multimodal consolidou o PET como ferramenta indispensável tanto na clínica quanto na pesquisa translacional.

De modo complementar, a inteligência artificial (IA) surge como o eixo transformador da neuroimagem contemporânea. Modelos de aprendizado profundo têm automatizado a análise de exames, detectado padrões imperceptíveis ao olho humano e previsto desfechos clínicos com desempenho comparável ao de especialistas.

A combinação entre IA, dados clínicos e exames multimodais inaugura uma nova era de neurodiagnóstico personalizado, em que a precisão, a reprodutibilidade e a eficiência caminham lado a lado.

Assim, a neuroimagem consolidou-se como pilar estruturante da neurologia moderna, substituindo o papel meramente auxiliar por uma função decisiva na detecção, monitoramento e predição de doenças.

A convergência entre EEG, RM, PET e IA aponta para um futuro de maior sensibilidade, acessibilidade e integração tecnológica.

A consolidação desse paradigma dependerá da padronização internacional de protocolos, validação multicêntrica de algoritmos e democratização do acesso, assegurando que os avanços científicos se traduzam em benefícios clínicos amplos, equitativos e sustentáveis para os pacientes neurológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABUALROB, M.A.; MESRAOUA, B. Harnessing artificial intelligence for the diagnosis and treatment of neurological emergencies: a comprehensive review of recent advances and future directions. *Frontiers in Neurology*, v. 15, p. 1485799, 2024. doi:10.3389/fneur.2024.1485799.

DAGHER, R. *et al.* Artificial intelligence/machine learning for neuroimaging to predict hemorrhagic transformation: systematic review/meta-analysis. *Journal of Neuroimaging*, v. 34, n. 5, p. 505-514, 2024. doi: 10.1111/jon.13223.

HAFEEZ, Y. *et al.* Explainable AI in diagnostic radiology for neurological disorders: a systematic review and physician perspectives. *Diagnostics (Basel)*, v. 15, n. 2, p. 168, 2025. doi: 10.3390/diagnostics15020168.

JIAN, A.; LIU, S.; DI IEVA, A. Artificial intelligence for survival prediction in brain tumors on neuroimaging. *Neurosurgery*, v. 91, n. 1, p. 8-26, 2022. doi: 10.1227/neu.0000000000001938.

PAN, I.; HUANG, R. Y. Artificial intelligence in neuroimaging of brain tumors: reality or still promise? *Current Opinion in Neurology*, v. 36, n. 6, p. 549-556, 2023. doi: 10.1097/WCO.0000000000001213.

SABA, L. Neuroradiology and generative artificial intelligence: the indispensable human element. *Neuroradiology Journal*, v. 36, n. 5, p. 505, 2023. doi: 10.1177/19714009231203429.

SOUN, J.E. *et al.* Artificial intelligence and acute stroke imaging. *AJNR American Journal of Neuroradiology*, v. 42, n. 1, p. 2-11, 2021. doi: 10.3174/ajnr.A6883.