

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA

LETICIA MARIA DE ALCANTARA

**REVISÃO SISTEMÁTICA QUANTO AO USO DO EEG PARA DIAGNOSTICO DE
MORTE ENCEFÁLICA.**

UBERLÂNDIA

2025

LETICIA MARIA DE ALCANTARA

**REVISÃO SISTEMÁTICA QUANTO AO USO DO EEG PARA DIAGNOSTICO DE
MORTE ENCEFÁLICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira(o) Biomédico.

Orientador: Prof. Dr. João Batista Destro Filho

Coorientadora: Melisse Segala Nascimento Peres

UBERLÂNDIA
2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

A347 Alcantara, Leticia Maria de, 1997-
2025 REVISÃO SISTEMÁTICA QUANTO AO USO DO EEG PARA
DIAGNOSTICO DE MORTE ENCEFÁLICA. [recurso eletrônico] /
Leticia Maria de Alcantara. - 2025.

Orientador: João Batista Destro Filho .
Coorientadora: Melisse Segala Nascimento Peres .
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em
Engenharia Biomédica.
Modo de acesso: Internet.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia biomédica. I. , João Batista Destro
Filho, 1970-, (Orient.). II. , Melisse Segala Nascimento
Peres, 1989-, (Coorient.). III. Universidade Federal de
Uberlândia. Graduação em Engenharia Biomédica. IV.
Título.

CDU: 62:61

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

LETICIA MARIA DE ALCANTARA

**REVISÃO SISTEMÁTICA QUANTO AO USO DO EEG PARA DIAGNOSTICO DE
MORTE ENCEFÁLICA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Corpo Docente do Departamento de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira(o) Biomédico.

Uberlândia, 23 de abril de 2025

Banca Examinadora:

Prof(a). Dr(a). João Batista Destro Filho – UFU – Orientador

Melisse Segala Nascimento Peres – UFU – Coorientadora

Prof(a). Dr(a). Luana Araújo Macedo Scalia – UFU – Membro Convidado

Dedico este trabalho aos meus pais, que
enfrentaram o sol para que eu pudesse
caminhar à sombra.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por me permitir chegar até aqui. Pela luz em meu caminho, pela saúde e pela riqueza de ter ao meu lado pessoas que me sustentaram nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, meu mais profundo agradecimento pelo apoio incondicional. À minha mãe, Shirley, que de joelhos em oração me fortaleceu para que eu pudesse permanecer de pé. Por sempre ter sido colo, consolo e a certeza de que eu jamais estaria sozinha. Ao meu pai, Ronaldo, que jamais mediu esforços para me ver bem — obrigada por cada conversa, cada gesto de cuidado e todos os ensinamentos que moldaram quem eu sou.

Ao José, meu namorado, agradeço por ter sido calmaria em meio à tempestade. Por ter dividido comigo o peso da distância e feito isso parecer leve. Por acreditar em mim mesmo nos meus dias de dúvida e me amparar com tanto amor.

Aos meus irmãos, Wellington e Murilo, e às minhas cunhadas, Tatiana e Beatriz, agradeço por todo o apoio, incentivo e carinho durante essa caminhada. Agradeço, também, a minha madrinha, Marlene, por todas orações e apoio.

Aos amigos Gabriela, Bárbara, Victória, Isadora e Gabriel, obrigada por deixarem esses anos mais divertidos.

Agradeço também ao meu orientador, Prof. João Batista Destro Filho, e à minha coorientadora, Melisse Segala Nascimento Peres, pelo suporte, paciência e dedicação à construção deste trabalho.

Por fim, agradeço à todas as pessoas que de alguma forma estiveram presente durante essa trajetória. Cada gesto de apoio, por menor que parecesse, foi essencial para que eu chegasse até aqui.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática sobre o uso do eletroencefalograma (EEG) como ferramenta diagnóstica de morte encefálica. O objetivo principal consistiu em analisar quantitativamente os resultados da literatura acerca desse tema. A pesquisa foi realizada nas plataformas ScienceDirect e Google Scholar, abrangendo estudos publicados entre 2015 e 2025. Foram incluídos artigos que utilizaram EEG em pacientes com diagnóstico confirmado de morte encefálica, desde que apresentassem análise quantitativa do sinal. A triagem seguiu as diretrizes PRISMA, resultando na seleção de seis estudos que atenderam aos critérios de elegibilidade. Os dados extraídos foram organizados em dois modos: aspectos clínicos e aspectos técnicos. Os resultados apontaram que todos os estudos utilizaram amostragem de 1000 Hz, com foco em regiões frontais do crânio e uso de filtros passa-banda combinados com técnicas avançadas de pré-processamento, como decomposição wavelet, ICA, VMD e Dynamic 2T-EMD. Observou-se redução média de 87% na energia espectral do EEG em pacientes com morte encefálica em comparação ao coma. A entropia multiescala também apresentou queda média de 54%, indicando menor complexidade nos sinais associados à morte encefálica. Modelos computacionais, como Support Vector Machine e Random Forest, atingiram acurácia de até 99,6% na classificação dos estados neurológicos. Esses achados demonstram o potencial do EEG, especialmente quando aliado a técnicas quantitativas e de aprendizado de máquina, como ferramenta auxiliar robusta no diagnóstico de morte encefálica, promovendo maior segurança e precisão na prática clínica.

Palavras-chave: Eletroencefalograma. Morte encefálica. Diagnóstico.

ABSTRACT

This study presents a systematic review on the use of electroencephalogram (EEG) as a diagnostic tool for brain death. The main objective was to quantitatively analyze the results found in the literature on this topic. The research was conducted through the ScienceDirect and Google Scholar platforms, covering studies published between 2015 and 2025. Articles that used EEG in patients with a confirmed clinical diagnosis of brain death were included, provided they contained a quantitative analysis of the EEG signal. The selection process followed the PRISMA guidelines, resulting in the inclusion of six studies that met the eligibility criteria. The extracted data were organized into two categories: clinical aspects and technical aspects. The results showed that all studies used a sampling frequency of 1000 Hz, with electrodes focused on frontal regions of the skull and the application of band-pass filters combined with advanced preprocessing techniques such as wavelet decomposition, ICA, VMD, and Dynamic 2T-EMD. An average reduction of 87% in EEG spectral energy was observed in patients with brain death when compared to coma. Multiscale entropy also showed an average decrease of 54%, indicating lower signal complexity in brain death cases. Computational models such as Support Vector Machine and Random Forest achieved accuracy rates of up to 99.6% in the classification of neurological states. These findings demonstrate the potential of EEG, especially when combined with quantitative techniques and machine learning, as a robust auxiliary tool in the diagnosis of brain death, promoting greater safety and precision in clinical practice.

Keywords: Electroencephalogram. Brain death. Diagnosis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 METODOLOGIA.....	14
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	16
3.1 ASPECTOS CLÍNICOS.....	16
3.1.1 INCLUSÃO E EXCLUSÃO	18
3.1.2 ETIOLOGIA.....	18
3.1.3 GRUPO DE ESTUDO.....	18
3.1.4 BANDAS DE ONDA ANALISADAS	19
3.1.5 DETALHES DO PROTOCOLO.....	19
3.2 ASPECTOS EXATOS.....	20
3.2.1 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM	23
3.2.2 PADRÃO DE FILTRAGEM	23
3.2.3 ARTEFATOS	23
3.2.4 FERRAMENTAS DE ANÁLISE	24
3.2.5 ALTERAÇÕES NO EEG.....	24
3.2.6 PRINCIPAIS RESULTADOS QUANTITATIVOS	24
4 CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A determinação da morte encefálica é um aspecto desafiador da prática médica moderna. Essa condição, definida como a cessação completa e irreversível de todas as funções do encéfalo, representa a morte do indivíduo para fins legais e éticos (AD HOC COMMITTEE, 1968). Esse conceito vem sendo discutido, refinado e incorporado em legislações e protocolos clínicos ao redor do mundo desde a primeira definição formal apresentada pela *Harvard Medical School*. Já no Brasil, o Conselho Federal de Medicina (CFM), por meio da Resolução CFM nº 2.173/2017, estabeleceu critérios objetivos e padronizados para o diagnóstico, exigindo ausência de atividade encefálica associada a testes clínicos e exames complementares em condições clínicas controladas.

A distinção entre estados neurológicos graves, como o coma profundo, e a morte encefálica é extremamente relevante, por conta das implicações éticas, clínicas e legais envolvidas no diagnóstico. Enquanto o coma representa um estado com a possibilidade de reversão pois possui funções cerebrais ainda preservadas, a morte encefálica implica na perda definitiva dessas funções, não sendo possível qualquer possibilidade de recuperação (Wijdicks, 2002). Ambos os estados neurais podem ter várias etiologias, como trauma cranioencefálico, AVC, hipóxia ou intoxicação, e a avaliação demanda monitoramento neurológico e suporte intensivo.

O protocolo brasileiro para diagnóstico de morte encefálica estabelece etapas rigorosas, divididas em avaliações clínicas e testes complementares. Os critérios clínicos envolvem a ausência de respostas de reflexos do tronco cerebral (como reflexos pupilar, corneano, vestibulo-ocular e de tosse) e o teste de apneia. Tais exames devem ser realizados por dois médicos diferentes, com intervalos determinados conforme a idade do paciente. Além disso, é necessária a exclusão de condições que possam simular a morte encefálica, como hipotermia, uso de depressores do sistema nervoso central ou distúrbios metabólicos. É importante pontuar, também que médico responsável por realizar os procedimentos de determinação da Morte Encefálica não poderá participar de equipe de retirada e transplante de órgãos, conforme estabelecido no artigo 3º da Lei nº 9.434/1997 e no Código de Ética Médica. (CFM, 2017).

Entre os testes complementares utilizados para confirmar a ausência de atividade cerebral, o eletroencefalograma (EEG) destaca-se como um dos principais instrumentos. Trata-se de um exame não invasivo, seguro e amplamente disponível, o que o torna uma opção preferencial na prática clínica (Niedermeyer, 1991). A interpretação clássica do EEG na morte encefálica é a presença de um padrão isoeétrico (atividade inferior a 2 μ V) durante pelo menos 30 minutos. No entanto, estudos mais recentes têm explorado abordagens quantitativas que permitem

avaliar, com maior precisão, a complexidade e a energia do sinal cerebral residual (Chen et al., 2008).

Segundo Chen et al. (2008), o EEG pode ser aplicado como ferramenta complementar relevante na diferenciação dos estados de coma profundo e morte encefálica, principalmente quando analisado por meio de complexidade (como entropia aproximada) e energia espectral. No seu estudo, identifica-se diferenças estatisticamente significativas entre os grupos com base nesses parâmetros. Isso demonstra que o EEG, aliado a técnicas de processamento de sinais, é uma alternativa confiável à avaliação puramente visual dos traçados.

Chawla et al. (2017) acrescentam ainda que em pacientes críticos atividades elétricas cerebrais podem persistir por alguns segundos após a parada circulatória, o que indica que nem toda ausência de perfusão acarreta imediatamente em morte encefálica. Esse achado reforça a necessidade de monitoramento prolongado dos sinais neurológicos, principalmente quando o quadro clínico não é completamente conclusivo.

Vale destacar que as abordagens computacionais têm sido decisivo para aprimorar a capacidade do EEG em diferenciar estados neurológicos críticos. A aplicação de técnicas como decomposição em modos empíricos (EMD), decomposição por modos variantes (VMD), transformadas wavelet e análise por janelas móveis permitem detectar padrões sutis mesmo em sinais ruidosos (Zhu, 2019). Além disso, algoritmos de machine learning, como *SVM (Support Vector Machine)* e *Random Forest*, têm alcançado precisão acima de 95% na classificação desses estados, permitindo diagnósticos mais objetivos.

A presente revisão sistemática visa investigar e sintetizar as principais evidências científicas que abordam o uso do EEG, em especial com métodos quantitativos, no diagnóstico da morte encefálica. O foco está em identificar os padrões mais recorrentes, as técnicas analíticas empregadas e os resultados quantitativos obtidos, com o objetivo de contribuir para a consolidação de protocolos baseados em evidências na prática clínica e no desenvolvimento de tecnologias assistivas no âmbito da engenharia biomédica.

2 METODOLOGIA

Para a realização da revisão sistemática sobre a utilização de eletroencefalograma na morte encefálica, foram utilizadas as plataformas de busca *ScienceDirect* e *Google Scholar*. As palavras-chave utilizadas na busca foram: *brain death AND electroencephalogram*, *brain death AND noise AND electroencephalogram*, *electroencephalograms AND brain death* e *brain death AND electroencephalogram AND intensive care units*. O intervalo temporal das publicações foi delimitado entre 2015 e 2025, com o objetivo de contemplar os estudos mais recentes e relevantes sobre o tema.

Os critérios de inclusão definidos abrangeram artigos que envolviam pacientes com diagnóstico de morte encefálica confirmado por critérios clínicos, com idade superior a 16 anos, e que empregavam o EEG como ferramenta diagnóstica. Apenas estudos que apresentavam análises quantitativas dos sinais eletroencefalográficos foram considerados. Estudos com conflitos de interesse declarados, bem como relatos de caso e trabalhos sem dados quantitativos, foram excluídos. A adoção desses critérios teve como objetivo garantir a qualidade e pertinência dos estudos revisados

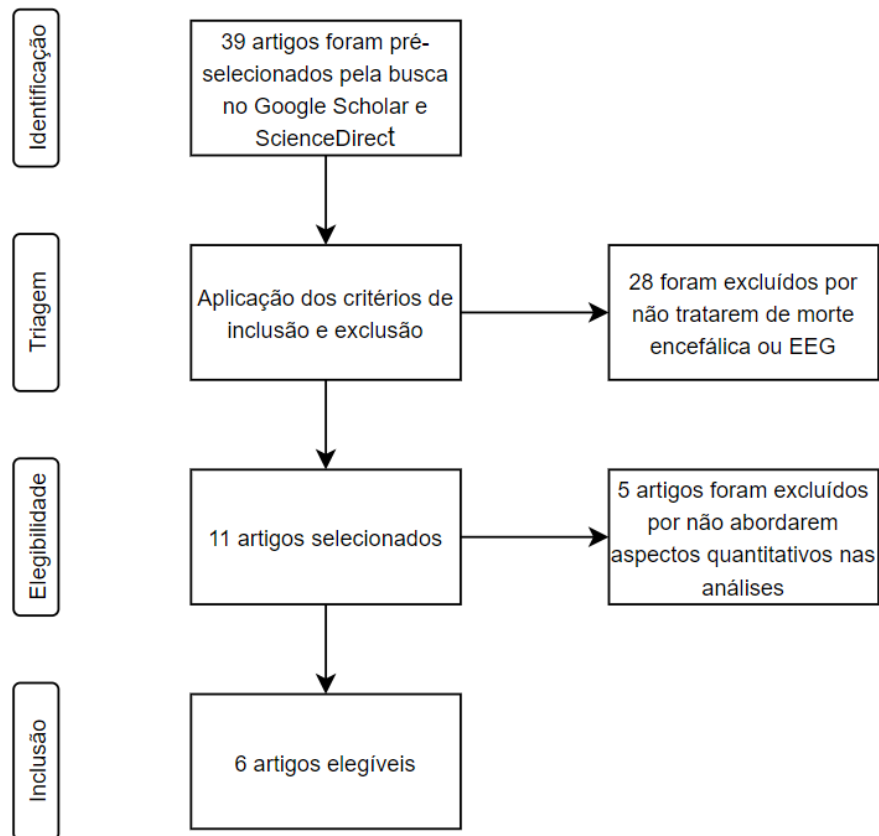
O processo de seleção seguiu as etapas recomendadas pelo PRISMA. 39 artigos foram considerados elegíveis para avaliação de texto completo. A aplicação rigorosa dos critérios de inclusão e exclusão resultou na seleção final de 6 estudos que atendiam plenamente aos requisitos estabelecidos.

A extração de dados foi organizada em duas tabelas. Na Tabela 1 (Aspectos Clínicos), foram coletadas informações sobre: (1) critérios de inclusão e exclusão de pacientes; (2) etiologia associada aos estados clínicos (como hipóxia, AVC e trauma); (3) características da amostra (número de participantes, idade média, distribuição por sexo); (4) bandas de frequência analisadas nos EEGs (delta, theta, alfa etc.); e (5) detalhes técnicos do protocolo, como número de canais, localização dos eletrodos, frequência de amostragem e métodos de pré-processamento como *ICA*, *wavelet* ou *VMD*.

Na Tabela 2 (Aspectos Técnicos e Analíticos), foram extraídos dados relacionados a: (1) frequência de amostragem utilizada; (2) filtros aplicados nos sinais EEG; (3) identificação e tratamento de artefatos (como ruído muscular e ambiental); (4) ferramentas de análise quantitativa (Fourier, entropia, machine learning); (5) padrões de alteração observados no EEG entre coma e morte encefálica; (6) resultados quantitativos, como reduções na energia espectral ou entropia; e (7) performance dos algoritmos de classificação usados nos estudos. Já na Table

3 foi disposto os resultados gerais. Cada tópico foi analisado com atenção às técnicas utilizadas, precisão das medidas e aplicabilidade dos achados.

Ilustração 1 – Fluxograma representando as etapas de seleção dos artigos.



Fonte: Autoria própria

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da análise dos estudos selecionados, foi possível identificar critérios clínicos e metodológicos importantes, bem como resultados quantitativos relevantes no diagnóstico da morte encefálica por meio da análise do eletroencefalograma (EEG). Os dados foram organizados em duas categorias principais: Aspectos clínicos (Tabela 1) e Aspectos técnicos e analíticos (Tabela 2 e 3) com o intuito de facilitar a compreensão e destacar as contribuições de cada perspectiva.

3.1 ASPECTOS CLÍNICOS

No que se refere aos aspectos clínicos, foram considerados os critérios de inclusão e exclusão dos participantes, a etiologia prévia ao estado do paciente, a constituição do grupo de estudo, as bandas de ondas analisadas e os detalhes do protocolo adotado. A seguir, apresenta-se a análise realizada.

Tabela 1 – Aspectos Clínicos.

Autor	Inclusão e exclusão	Etiologia	Grupo de Estudo	Bandas de onda analisadas	Detalhes quanto ao protocolo
CUI et al.(2016)	Incluiu pacientes com morte cerebral e coma, diagnosticados por exames clínicos. Excluiu sinais com interferências ou registros de baixa qualidade.	Lesões hipóxicas, AVC extenso, traumatismo craniano grave.	34 pacientes (17 em coma, 17 com morte cerebral), idade entre 20–85 anos (16 homens, 12 mulheres).	Alpha (7.5–12.5 Hz) Theta (3.5–7.5 Hz) Delta (0.5–3.5 Hz)	EEG com 6 canais (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8), 1000 Hz, duração variável, filtrado com ICA + Wavelet para remoção de artefatos.
CUI et al. (2014)	Incluiu pacientes com morte cerebral e coma, avaliados por critérios clínicos. Excluiu EEGs com ruído excessivo ou registros incompletos.	Hipóxia cerebral, AVC, lesões cerebrais traumáticas e metabólicas.	44 pacientes analisados (21 em coma, 15 com morte cerebral, 8 saudáveis como controle), idade entre 18–85 anos (18 homens, 12 mulheres).	O estudo não detalha as bandas de frequência específicas analisadas (foco em energia total).	EEG registrado com 6 canais (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8), 1000 Hz, duração 60 s, pré-processado com D-MEMD para remoção de artefatos.
LI et al (2024)	Incluiu pacientes em UTI com coma profundo ou morte cerebral, diagnosticados por dois médicos. Excluiu registros com ruído excessivo ou falhas técnicas.	Traumatismo cranioencefálico, AVC, hipóxia cerebral severa e lesões neurológicas irreversíveis.	65 pacientes avaliados, 8 selecionados (4 coma, 4 morte cerebral), idade 16–85 anos (6 homens, 2 mulheres).	4–9 Hz (Theta/Alpha)	EEG registrado na UTI com 9 eletrodos (sistema 10-20), 1000 Hz, impedância <8 kΩ, duração 39–1810 s, com pré-processamento para remoção de ruídos.
MIAO et al. (2017)	Incluiu pacientes com coma profundo ou estado de quase-morte cerebral, avaliados por critérios clínicos. Excluiu registros com ruídos excessivos ou falhas técnicas que comprometessem a análise.	As principais causas foram hipóxia cerebral, AVC, lesões cerebrais traumáticas e doenças metabólicas severas.	36 casos (19 coma, 17 quase-morte cerebral), provenientes de 35 pacientes (20 homens, 15 mulheres), idade entre 17 e 85 anos. Observação: Um paciente teve dois registros (um em coma e outro em quase-morte cerebral)	Todas as bandas (foco em energia total)	EEG registrado com 7 eletrodos na testa (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, GND), usando um sistema NeuroScan ESI-64, com referências nos lóbulos das orelhas (A1, A2). Frequência de amostragem de 1000 Hz, impedância dos eletrodos <8 kΩ, gravações de duração variável. Os sinais foram processados com Dynamic 2T-EMD para remoção de ruídos e análise da evolução temporal da energia EEG.
ZHANG et al. (2023)	Pacientes com diagnóstico clínico confirmado de morte cerebral ou coma, excluídos aqueles com distúrbios neurológicos pré-existent.	Trauma craniano, AVC, hipóxia cerebral.	100 pacientes (50 morte cerebral, 50 coma), não fornece informações sobre idade nem sexo.	O estudo não detalha as bandas de frequência específicas analisadas.	EEG registrado com 9 eletrodos (6 exploratórios: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8; 2 referência: A1-A2; 1 terra), amostragem 1000 Hz, impedância <8 kΩ. Análise dinâmica contínua com janela de 1000 ms (1 segundo) sem sobreposição. Sistema de aquisição g.Nautilus (NeuroScan ESI), com dados supervisionados por neurologista.
ZHU et al. (2019)	Inclusão de pacientes com diagnóstico clínico confirmado de morte cerebral ou coma. Exclusão de indivíduos com uso recente de sedativos ou distúrbios neurológicos prévios.	Hipóxia cerebral, AVC e trauma craniano.	30 pacientes, sendo 15 com morte cerebral (8 homens e 7 mulheres) e 15 em coma (9 homens e 6 mulheres), com idades entre 29 e 70 anos.	1–10 Hz (Delta/Theta)	EEG registrado na UTI, com duração de 20 minutos por paciente. Os eletrodos foram posicionados conforme o sistema internacional 10-20, com referência nos lóbulos das orelhas. A impedância foi mantida abaixo de 5 kΩ para garantir qualidade do sinal.

Fonte: Autoria própria

3.1.1 INCLUSÃO E EXCLUSÃO

A análise dos critérios de inclusão e exclusão nos estudos revisados demonstra uma abordagem metodológica rigorosa na seleção dos participantes, com foco em garantir a confiabilidade dos dados de EEG para diferenciação entre morte cerebral e coma.

Critérios de Inclusão: Todos os estudos incluíram pacientes com diagnóstico clínico confirmado de morte cerebral ou coma, baseado em exames neurológicos padronizados. Os grupos de estudo foram compostos majoritariamente por pacientes em unidades de terapia intensiva (UTI), com etiologias como hipóxia cerebral, acidente vascular cerebral (AVC) e traumatismo craniano

Critérios de Exclusão: Os trabalhos excluíram registros de EEG com ruídos excessivos, artefatos significativos ou falhas técnicas que comprometessem a análise. Além disso, alguns estudos descartaram pacientes com distúrbios neurológicos pré-existentes (Zhang, 2023; Zhu, 2019) ou uso recente de sedativos (Zhu, 2019), visando evitar interferências nos resultados.

3.1.2 ETIOLOGIA

A análise das causas associadas aos estados de coma e morte cerebral nos estudos revisados revela um padrão consistente, com predominância de condições neurológicas graves e irreversíveis.

Principais Causas:

- Hipóxia cerebral foi relatada em todos os estudos (100%), destacando-se como o fator etiológico mais frequente. Essa prevalência reflete o caráter terminal comum de diversas patologias, como paradas cardiorrespiratórias e insuficiência respiratória grave.
- Acidente Vascular Cerebral (AVC) esteve presente em 83% dos trabalhos.
- Traumatismo craniano foi mencionado em 67% das pesquisas, frequentemente vinculado a quadros de coma traumático.

3.1.3 GRUPO DE ESTUDO

A caracterização dos grupos de estudo nos artigos analisados revela uma amostra total média de 52 participantes por estudo. A distribuição entre os estados neurológicos foi equilibrada, com média de 26 pacientes em coma e 26 em morte cerebral, refletindo uma preocupação metodológica em manter comparabilidade entre os grupos.

A idade média dos participantes variou entre 22 e 79 anos. Observou-se uma leve predominância do sexo masculino, representando em média 58% da amostra total.

3.1.4 BANDAS DE ONDA ANALISADAS

Dos estudos analisados, apenas dois (33%) utilizaram a abordagem tradicional de análise por bandas de frequência definidas. O estudo mais abrangente nesse aspecto (Cui, 2016) considerou todas as bandas clássicas (delta: 0.5-3.5Hz, theta: 3.5-7.5Hz, alpha: 7.5-12.5Hz e beta: 12.5-35Hz), enquanto outro (Li, 2024) focou especificamente na faixa de 4-9Hz, que engloba parte das bandas theta e alpha.

A maioria dos trabalhos (4/6) adotou métodos alternativos baseados em decomposição de sinais e análise de características temporais, como cálculo de energia e complexidade do sinal. Essas abordagens dispensam a necessidade de definir faixas de frequência específicas, permitindo a obtenção de informações diretamente do sinal no domínio do tempo.

Um ponto relevante foi que nenhum dos estudos incluíram análise de frequências acima da banda beta (>30Hz). Essa lacuna acaba por limitar a compreensão sobre o potencial das oscilações de alta frequência nestes estados clínicos.

3.1.5 DETALHES DO PROTOCOLO

Os estudos analisados demonstraram consistência na frequência de amostragem (1000 Hz em todos os casos), o que permite a captura precisa de componentes de alta frequência no sinal EEG. Quanto à configuração técnica, observou-se uma média de 7 canais, com variação entre 6 e 9 eletrodos posicionados principalmente na região frontal (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8).

A duração dos registros apresentou significativa variação entre os estudos, indo desde 39 segundos até 30 minutos, sendo que 50% (3/6) das pesquisas não especificaram esse parâmetro. Apenas um estudo (Zhu, 2019) adotou tempo fixo de registro (20 minutos), enquanto outros utilizaram períodos variáveis ou não mencionaram essa informação. Todos os trabalhos mantiveram rigoroso controle de qualidade, com impedância dos eletrodos abaixo de 8 k Ω e supervisão por neurologistas na maioria dos casos.

Nota-se uma clara evolução nas técnicas de pré-processamento, desde métodos tradicionais como ICA e decomposição wavelet até abordagens mais avançadas como VMD e Dynamic 2T-EMD. O estudo mais recente (LI, 2024) incorporou análises dinâmicas com janelas temporais, demonstrando a tendência para métodos computacionais sofisticados.

3.2 ASPECTOS EXATOS

No que se refere aos aspectos exato, foram considerados para análise a frequência de amostragem, padrão de filtragem do sinal, os artefatos presente nos dados recolhidos ferramentas usadas para análise do sinal, as alterações encontradas no EEG, os principais resultados e os resultados detalhados.

Tabela 2: Aspectos Exatos.

Nome do Autor, Data	Frequência de amostragem	Padrão de Filtragem	Artefatos	Ferramentas de Análises	Alterações no EEG	Principais Resultados Quantitativos
CUI et al.(2016)	1000 Hz	Análise de Componentes Independentes (ICA) para remoção de artefatos, seguida de decomposição por wavelet para redução de ruído e cálculo da relação sinal-ruído (SNR)	Ruídos ambientais e interferências de movimento dos pacientes foram removidos usando ICA e wavelet decomposition	<ul style="list-style-type: none"> - Transformada de Fourier para análise do espectro de potência. - Entropia de Permutação Multiescala para avaliação da complexidade do sinal. - Teste de soma de postos de Wilcoxon para análise estatística 	Redução significativa da atividade cerebral em todas as bandas de frequência (alpha, theta, delta).	Morte cerebral apresentou SNR 10–15% maior que o coma. MSE 62–92% menor na morte cerebral. Entropia multiescala: redução de 25–42% nas bandas alpha, theta e delta ($p < 0,05$).
CUI et al. (2014)	1000 Hz	Dynamic Multivariate Empirical Mode Decomposition (D-MEMD) para remoção de ruído e decomposição dos sinais em Modos Intrínsecos (IMFs). Foram descartados resíduos e componentes de alta frequência indesejados.	Interferências elétricas e ruídos ambientais foram reduzidos usando D-MEMD, que eliminou componentes de alta frequência não relevantes, além da separação de sinais úteis por meio de análise de envelopes.	<ul style="list-style-type: none"> - Dynamic Multivariate Empirical Mode Decomposition (D-MEMD) para segmentação e decomposição do sinal de EEG. - Transformada Rápida de Fourier (FFT) para conversão do domínio do tempo para o domínio da frequência e cálculo da energia do EEG. - Média móvel simples (3 segundos) para suavização dos dados de energia ao longo do tempo 	Queda acentuada na energia do EEG em todos os canais analisados.	Energia do EEG 83–98% menor na morte cerebral (valores máximos: $7,03 \times 10^3 \mu V^2 \cdot s$ em morte cerebral $1,05 \times 10^4$ – $4,2 \times 10^4 \mu V^2 \cdot s$ no coma).
LI et al (2024)	1000 Hz	<p>Filtro Notch de 50 Hz para remoção de ruídos de corrente alternada (AC).</p> <p>Filtro passa-banda de 0,5–40 Hz para atenuação de componentes de alta frequência indesejadas.</p> <p>Threshold de 75 μV para rejeitar sinais de alta amplitude considerados ruído.</p> <p>Correção de fase para evitar distorções temporais no sinal após filtragem.</p>	<p>Ruídos ambientais: interferências eletromagnéticas e de corrente alternada (AC) atenuadas por filtragem.</p> <p>Ruídos não fisiológicos: sinais acima de 75 μV removidos por um threshold automático.</p> <p>Potenciais eletromiográficos (EMG): identificados e rejeitados por uma janela deslizante de detecção de baixa amplitude e baixa frequência.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Variational Mode Decomposition (VMD) com $K=5$ para decomposição dos sinais de EEG em modos centrais de frequência e extração de características espectrais. - Transformada de Hilbert para obtenção de sinais analíticos. - Recursive Feature Elimination (RFE) para seleção das características espectrais mais relevantes. - Support Vector Machine (SVM) para classificação dos sinais de EEG entre coma e morte cerebral. - Cross-validation (Stratified K-Fold, 5 folds) para validação da seleção de características. 	Redução drástica na energia espectral na faixa de 4–9 Hz.	Energia espectral 86% menor na morte cerebral ($0,0021 \pm 0,0008 \mu V^2$ em morte cerebral $0,0154 \pm 0,0023 \mu V^2$ no coma). SVM alcançou 99,6% de acurácia na classificação.

Nome do Autor, Data	Frequência de amostragem	Padrão de Filtragem	Artefatos	Ferramentas de Análises	Alterações no EEG	Principais Resultados Quantitativos
MIAO et al.(2017)	1000 Hz	Utilização do Dynamic 2T-EMD, uma variação do método 2T-EMD, que permite a decomposição dinâmica do sinal EEG em janelas temporais deslizantes para evitar perda de informação e reduzir interferências.	- Ruídos ambientais e instrumentais minimizados pelo método de decomposição Dynamic 2T-EMD. - Flutuações não fisiológicas corrigidas pela análise de tendências de energia do EEG ao longo do tempo.	- Dynamic 2T-EMD para decomposição dos sinais EEG ao longo do tempo. - Cálculo da Energia do EEG com base no espectro de potência e no tempo de gravação. - Comparação entre estados clínicos (coma e quase-morte cerebral) para diferenciar os padrões energéticos.	Queda abrupta na energia do EEG durante a transição de coma para morte cerebral.	Energia do EEG 88–96% menor na morte cerebral ($1,23 \times 10^3 - 6,06 \times 10^3 \mu V^2$ em morte cerebral $1,71 \times 10^4 - 1,98 \times 10^5 \mu V^2$ no coma). Transição mostrou redução de 89–92% ($p < 0,001$).
ZHANG et al. (2023)	1000 Hz	Filtro passa-faixa de 0,5–70 Hz	Removidos por Independent Component Analysis (ICA)	- Análise de energia espectral para análise da distribuição da potência do sinal EEG em diferentes frequências - Permutation Entropy (PE) avaliando a complexidade do sinal EEG medindo a previsibilidade dos padrões temporais. - Support Vector Machine (SVM), algoritmo de aprendizado de máquina usado para classificar estados de coma e morte cerebral com base nas características do EEG. - Teste de Wilcoxon como método estatístico não paramétrico utilizado para comparar distribuições e identificar diferenças significativas entre os grupos.	Redução da energia espectral em todas as bandas de frequência, especialmente entre 4–8 Hz.	Energia espectral 86% menor na morte cerebral ($0,0020 \pm 0,0007 \mu V^2$ em morte cerebral e $0,0148 \pm 0,0021 \mu V^2$ no coma). Entropia de permutação 54% menor. SVM com 98,8% de acurácia.
ZHU et al. (2019)	1000 Hz	Filtro passa-faixa de 0,5–60 Hz para remoção de ruídos de baixa e alta frequência.	Ruídos musculares e elétricos reduzidos por Independent Component Analysis (ICA) e inspeção visual manual.	- Análise de energia espectral medindo a distribuição da potência do EEG em diferentes faixas de frequência para avaliar a atividade neural. - Multiscale Entropy (MSE) para análise da complexidade do sinal EEG em diferentes escalas temporais. - Random Forest (RF), algoritmo de aprendizado de máquina utilizado para classificar coma e morte cerebral com base em características do EEG. - Teste de Wilcoxon Teste estatístico não paramétrico para comparar diferenças entre grupos.	Redução significativa da energia espectral na banda de 1–10 Hz.	Energia espectral 87% menor na morte cerebral ($0,0018 \pm 0,0006 \mu V^2$ vs. $0,0135 \pm 0,0020 \mu V^2$ no coma). Entropia multiescala 57% menor. Random Forest com 97,8% de acurácia.

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Resultados Gerais.

Nome do Autor, Data	Resultados
CUI et al.(2016)	<p>Morte cerebral apresentou menor relação sinal-ruído (SNR: 151,99–173,42) e erro quadrático médio reduzido (MSE: 0,0011–0,0813) em comparação ao coma (SNR: 128,76–155,18; MSE: 0,0029–0,0169).</p> <p>A energia espectral foi significativamente menor na morte cerebral, indicando menor atividade cerebral. A entropia de permutação multiescala revelou menor complexidade do sinal na morte cerebral quando comparado ao coma, com valores médios inferiores nos ritmos alpha (morte cerebral: $0,35 \pm 0,04$; coma: $0,47 \pm 0,05$), theta (morte cerebral: $0,28 \pm 0,03$; coma: $0,42 \pm 0,04$) e delta (morte cerebral: $0,22 \pm 0,02$; coma: $0,38 \pm 0,03$).</p> <p>O teste de Wilcoxon confirmou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos para todos os canais analisados, com Fp1 (morte cerebral: $Z = -89,02$, $p = 0,000$; coma: $Z = -89,02$, $p = 0,000$), Fp2 (morte cerebral: $Z = -158,81$, $p = 0,012$; coma: $Z = -158,81$, $p = 0,012$), F7 (morte cerebral: $Z = -36,18$, $p = 0,035$; coma: $Z = -36,18$, $p = 0,035$), F3 (morte cerebral: $Z = -70,34$, $p = 0,000$; coma: $Z = -70,34$, $p = 0,000$), F4 (morte cerebral: $Z = -145,69$, $p = 0,017$; coma: $Z = -145,69$, $p = 0,017$) e F8 (morte cerebral: $Z = -97,56$, $p = 0,031$; coma: $Z = -97,56$, $p = 0,031$), evidenciando menor variabilidade, menor energia e menor complexidade do sinal na morte cerebral em comparação ao coma.</p>
CUI et al. (2014)	<p>Morte cerebral apresentou a menor energia do EEG em todos os canais analisados (Fp1, Fp2, F3, F4, F7 e F8), com valores máximos de $7,03 \times 10^3 \mu V^2 \cdot s$, indicando atividade cerebral extremamente reduzida. Em contraste, pacientes em estado de coma apresentaram energia significativamente maior, variando entre $1,05 \times 10^4$ e $4,2 \times 10^4 \mu V^2 \cdot s$. A análise dinâmica da energia ao longo do tempo revelou que a energia média do EEG em pacientes com morte cerebral permaneceu abaixo de $1,00 \times 10^4 \mu V^2 \cdot s$, enquanto no coma variou entre $1,20 \times 10^4$ e $4,81 \times 10^5 \mu V^2 \cdot s$.</p>
LI et al (2024)	<p>Morte cerebral apresentou uma significativa redução na energia espectral na faixa de 4–9 Hz, com valores médios de $0,0021 \pm 0,0008 \mu V^2$, enquanto pacientes em coma exibiram valores consideravelmente maiores ($0,0154 \pm 0,0023 \mu V^2$). A análise por Variational Mode Decomposition (VMD) com $K = 5$ evidenciou que os sinais de EEG de pacientes com morte cerebral eram achatados e sem padrões rítmicos definidos, ao contrário do coma, onde ainda foi observada atividade neural residual.</p> <p>A seleção de características realizada por Recursive Feature Elimination (RFE) apontou a faixa de 4–9 Hz como o principal parâmetro diferenciador entre os estados, destacando uma distinção estatisticamente significativa ($p < 0,001$). A classificação utilizando Support Vector Machine (SVM) obteve uma acurácia de 99,59% e um F1-score de 99,61%, confirmando a confiabilidade do método na diferenciação entre coma e morte cerebral.</p>
MIAO et al. (2017)	<p>Morte cerebral apresentou menor energia do EEG ($1,23 \times 10^3 - 6,06 \times 10^3 \mu V^2$) em comparação ao coma ($1,71 \times 10^4 - 1,98 \times 10^5 \mu V^2$). Durante a transição de coma para morte cerebral, a energia caiu de $2,02 \times 10^4 - 5,59 \times 10^4 \mu V^2$ para $2,26 \times 10^3 - 4,82 \times 10^3 \mu V^2$ ($p < 0,001$). A análise por Dynamic 2T-EMD revelou sinais achatados e sem padrões rítmicos na morte cerebral, enquanto o coma manteve atividade neural residual.</p>
ZHANG et al. (2023)	<p>Morte cerebral apresentou energia espectral reduzida em todas as bandas de frequência especialmente entre 4–8 Hz com valores médios de $0,0020 \pm 0,0007 \mu V^2$ em comparação ao coma que apresentou $0,0148 \pm 0,0021 \mu V^2$. O teste de Wilcoxon confirmou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. A entropia de permutação foi menor na morte cerebral com valor médio de $0,21 \pm 0,04$ do que no coma que apresentou $0,46 \pm 0,06$ indicando menor variabilidade do sinal. O SVM obteve 98,75% de acurácia na distinção entre os estados.</p>
ZHU et al. (2019)	<p>Morte cerebral apresentou energia espectral significativamente menor na banda de 1–10 Hz ($0,0018 \pm 0,0006 \mu V^2$) em comparação ao coma ($0,0135 \pm 0,0020 \mu V^2$). A entropia multiescala foi reduzida na morte cerebral ($0,19 \pm 0,05$) em relação ao coma ($0,44 \pm 0,07$), indicando menor variabilidade do sinal. O <i>Random Forest</i> obteve acurácia de 97,80% na diferenciação dos estados.</p>

Fonte: Autoria própria.

3.2.1 FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM

A análise dos dados revela que todos os estudos adotaram 1000Hz como frequência de amostragem.

Por conta da existência de diversos componentes de alta frequência do sinal EEG, a escolha metodológica é necessária para a captura do sinal com precisão. Esses componentes de alta frequência são importantes para análises de decomposição espectral e temporal. A frequência mais elevada permite, ainda, uma melhor resolução temporal, essencial para técnicas como a decomposição *wavelet* e a análise de componentes independentes (*ICA*).

3.2.2 PADRÃO DE FILTRAGEM

Os protocolos de filtragem nos estudos analisados apresentaram um grande refinamento técnico, evoluindo de abordagens convencionais para métodos avançados de processamento de sinais. Por meio da observação dos estudos, nota-se que todos os empregaram filtros passa-banda (tipicamente 0.5-40 Hz) combinados com filtros notch para eliminar interferência de linha.

Além disso, observa-se uma clara progressão temporal nas técnicas: estudos mais antigos (CUI, 2014-2016) utilizaram principalmente *ICA* e *wavelets*, enquanto trabalhos recentes (Li, 2024; Zhang, 2023) adotaram métodos mais sofisticados como *Variational Mode Decomposition (VMD)* e *Dynamic 2T-EMD*. Outro fator interessante no processamento dos sinais é o uso de limiares de amplitude (75 μ V em Li, 2024) para rejeição automática de artefatos, demonstrando a tendência de automação no pré-processamento. Esses avanços permitiram uma remoção mais eficiente de artefatos sem perda significativa de informação fisiológica relevante.

3.2.3 ARTEFATOS

A análise dos artefatos nos diversos estudos revelou padrões consistentes. Ruídos ambientais (interferência elétrica e eletromagnética) foram observados em 100% dos trabalhos, enquanto artefatos de movimento apareceram em 67% (4/6) dos casos.

Chama atenção a evolução nas estratégias de mitigação: enquanto estudos iniciais priorizaram a remoção pós-aquisição dos sinais, trabalhos recentes incorporaram protocolos preventivos já na coleta de dados. Entre essas estratégias, destacam-se o controle rigoroso da

impedância ($<5k\Omega$) e o posicionamento otimizado dos eletrodos, visando minimizar interferências.

Os artefatos musculares (EMG), presentes em 50% (3/6) dos estudos, mostraram-se significativamente desafiador, exigindo combinações de técnicas envolvendo filtragem digital e inspeção visual para a supressão eficiente do artefato em questão. Esta análise sugere que, apesar dos avanços tecnológicos, a atuação de profissionais qualificados ainda se faz necessária para garantir a confiabilidade dos sinais adquiridos.

3.2.4 FERRAMENTAS DE ANÁLISE

Assim como os padrões de filtragem, o panorama das ferramentas analíticas demonstra uma perceptível transição de abordagens clássicas para técnicas computacionais avançadas. A Transformada de Fourier permaneceu como base em todos os estudos e foi usada para análise espectral, porém complementada por métodos inovadores:

- Análise de entropia (*Multiscale Entropy* ou *Permutation Entropy*) em 83% (5/6) dos estudos
- Algoritmos de *machine learning* (*SVM*, *Random Forest*) em 67% (4/6).
- Técnicas de decomposição não-linear (*EMD*, *VMD*) em 50% (3/6).

Além disso, é possível perceber que os estudos que combinaram múltiplas ferramentas de análise obtiveram os melhores resultados de classificação de acurácia.

3.2.5 ALTERAÇÕES NO EEG

A análise da coluna "Alterações no EEG" revela um consenso unânime entre os estudos quanto à redução generalizada da atividade elétrica cerebral nos estados de coma e morte cerebral. As alterações mostram-se particularmente evidentes nas bandas de baixa e média frequência, sendo a faixa theta (4-8 Hz) mencionada em 50% dos estudos e a combinação delta-theta (1-10 Hz) destacada em 33% dos trabalhos, enquanto apenas um estudo (17%) optou por descrever as alterações nas bandas tradicionais (alpha, theta e delta) separadamente. Nota-se que apenas um estudo (17%) forneceu informações específicas sobre a dinâmica temporal, descrevendo uma queda abrupta da energia durante a transição entre coma e morte cerebral, enquanto os demais limitaram-se a caracterizar os estados já estabelecidos.

3.2.6 PRINCIPAIS RESULTADOS QUANTITATIVOS

A análise dos dados revelou diferenças marcantes entre os estados de coma e morte cerebral. Os resultados percentuais mostram que a morte cerebral apresentou uma redução

média de 87% na energia espectral quando comparada ao coma. A entropia multiescala foi 54% menor na morte cerebral em relação ao coma, indicando menor complexidade do sinal. Ambos os resultados foram obtidos com base na média aproximada dos percentuais de redução relatados. Estes resultados sugerem a possibilidade de serem considerados biomarcadores para a morte encefálica, necessitando de estudos complementares.

Em termos de energia do EEG, os estudos demonstraram reduções entre 83-98% na morte cerebral. A análise espectral na faixa de 4-9 Hz mostrou queda de 86% na morte cerebral.

Os algoritmos de classificação alcançaram altas taxas de acurácia, variando entre 97,8% (*Random Forest*) e 99,6% (*SVM*), confirmando a robustez dos parâmetros analisados para diferenciação dos estados neurológicos.

4 CONCLUSÃO

A partir da presente revisão sistemática, foi possível observar que o eletroencefalograma (EEG) é uma ferramenta relevante no diagnóstico de morte encefálica, principalmente quando associado a métodos quantitativos de análise e algoritmos de classificação. Apesar dos avanços na área, os estudos ainda apresentam variações metodológicas significativas, indicando a necessidade de padronização nos protocolos utilizados.

A análise dos aspectos clínicos evidenciou uma preocupação metodológica consistente entre os estudos revisados. Os critérios de inclusão foram relativamente homogêneos, com foco em pacientes com diagnóstico confirmado de morte encefálica ou coma, enquanto os critérios de exclusão visaram reduzir interferências nos sinais, como uso de sedativos ou presença de distúrbios neurológicos prévios. As causas clínicas predominantes, como hipóxia cerebral, acidente vascular cerebral e traumatismo craniano, reforçam a gravidade dos quadros estudados. A composição das amostras apresentou distribuição equilibrada entre pacientes em coma e com morte encefálica, o que contribui para a comparabilidade dos dados. Apesar da relevância clínica das diferentes faixas de frequência do EEG, a maioria dos estudos não especificou claramente quais bandas foram analisadas, pois obtiveram informações diretamente do sinal no domínio do tempo. Além disso, nenhum dos estudos incluiu a análise de frequências superiores à banda beta (>30 Hz), o que limita o entendimento sobre o papel das oscilações de alta frequência nesse contexto diagnóstico.

A literatura revisada indica que, para a realização de estudos mais consistentes sobre o tema, é recomendado a utilização de uma frequência de amostragem de 1000 Hz, sistemas multicanais com foco em regiões frontais do crânio, filtros passa-banda combinados com filtros notch, e técnicas de pré-processamento como ICA, decomposição wavelet, VMD ou Dynamic 2T-EMD. Também se destaca a importância de critérios clínicos rigorosos, como a exclusão de pacientes com distúrbios neurológicos prévios e o controle do uso de sedativos, a fim de evitar interferências nos dados obtidos.

A análise dos dados revelou diferenças marcantes entre os estados de coma e morte cerebral. Os resultados percentuais mostram que a morte cerebral apresentou uma redução média de 87% na energia espectral quando comparada ao coma. A entropia multiescala foi 54% menor na morte cerebral em relação ao coma, indicando menor complexidade do sinal. Ambos os resultados foram obtidos com base na média aproximada dos percentuais de redução

relatados. Estes resultados sugerem a possibilidade de serem considerados biomarcadores para a morte encefálica, necessitando de estudos complementares.

Os algoritmos de classificação aplicados nos estudos, como Support Vector Machine (SVM) e Random Forest, apresentaram taxas de acurácia entre 97,8% e 99,6%, evidenciando o potencial do uso de abordagens computacionais na diferenciação entre os dois estados neurológicos. Esses resultados reforçam a viabilidade do EEG como método complementar no diagnóstico da morte encefálica.

Conclui-se que o EEG pode representar um importante apoio diagnóstico, especialmente quando combinado com técnicas modernas de processamento e análise de sinais. A continuidade das pesquisas nessa área, com grupos de estudo maiores e metodologias mais padronizadas, pode contribuir para a consolidação do EEG como ferramenta biomédica eficaz no contexto da avaliação da atividade encefálica.

REFERÊNCIAS

AD HOC COMMITTEE OF THE HARVARD MEDICAL SCHOOL TO EXAMINE THE DEFINITION OF BRAIN DEATH. A definition of irreversible coma. JAMA, v. 205, n. 6, p. 337-340, 1968. Disponível em: <https://doi.org/10.1001/jama.1968.03140320031009>. Acesso em: 12 de abril de 2025.

BRASIL. Lei nº 9.434, de 4 de fevereiro de 1997. Dispõe sobre a remoção de órgãos, tecidos e partes do corpo humano para fins de transplante e tratamento. Diário Oficial da União, Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9434.htm. Acesso em: 13 de abril de 2025.

CENSO FEDERAL DE MEDICINA (CFM). Resolução CFM nº 2.173/2017. Define os critérios do diagnóstico de morte encefálica. Diário Oficial da União, Brasília, 2017. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19194581. Acesso em: 13 de abril de 2025.

CHAWLA, L. S. et al. Characterization of End of Life Electroencephalographic Surges in Critically Ill Patients. Journal of Palliative Medicine, v. 20, n. 4, p. 439-444, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1089/jpm.2016.0378>. Acesso em: 25 de abril de 2025.

CHEN, Z.; CAO, Y.; ZHANG, Y.; GU, F.; ZHU, G.; HONG, Z.; WANG, B.; CUI, D. An empirical EEG analysis in brain death diagnosis for adults. Cognitive Neurodynamics, v. 2, n. 3, p. 257-271, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11571-008-9055-z>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2023.

CUI, Gaochao; YIN, Yunchao; TANAKA, Toshihisa; CAO, Jianting. EEG Energy Analysis for Evaluating Consciousness Level Using Dynamic MEMD. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS (IJCNN), 2014, Beijing. Anais... Beijing: IEEE, 2014. p. 3247-3254. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324986227>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2025.

CUI, Gaochao; ZHU, Li; WANG, Dongsheng; CAO, Jianting. EEG Analysis for Differentiating between Brain Death and Coma in Humans. International Journal of Computers & Technology, v. 15, n. 11, p. 7189-7201, out. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324989349>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2025.

LI, Boning; LIU, Jinsha; ZHANG, Tao; CAO, Yang; CAO, Jianting. Quantitative analysis and machine learning-based interpretation of EEG signals in coma and brain-death diagnosis. Cognitive Neurodynamics, v. 18, p. 2947-2962, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11571-024-10131-y>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2025.

MIAO, Yao; WANG, Dongsheng; CUI, Gaochao; ZHU, Li; CAO, Jianting. Analyzing patients' EEG energy for brain death determination based on Dynamic 2T-EMD. *International Journal of Computers & Technology*, v. 16, n. 1, p. 7573-7580, mar. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324986227>. Acesso em: 25 de fevereiro de 2025.

NIEDERMEYER, E. *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. 3rd ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991.

WIJDICKS, E. F. M. The diagnosis of brain death. *New England Journal of Medicine*, v. 344, n. 16, p. 1215-1221, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1056/NEJM200104193441606>. Acesso em: 12 de abril de 2025.

ZHANG, R.; SUI, L.; GONG, J.; CAO, J. EEG-based real-time diagnostic system with developed dynamic 2TEMD and dynamic ApEn algorithms. *Frontiers in Physiology*, v. 14, p. 1165450, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1165450>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2025.

ZHU, L. et al. A hybrid system for distinguishing between brain death and coma using diverse EEG features. *Sensors*, v. 19, n. 6, p. 1342, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/s19061342>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2025.