



10º Encontro de Ensino Pesquisa e Extensão

Patrocínio, MG, Outubro de 2023

ESTUDO E CONVERSÃO DE SINAIS DE ELETROENCEFALOGRAMA EM REDES COMPLEXAS

Gustavo Mateus Machado Dornelas
Cintia Carvalho Oliveira
Instituto Federal do Triângulo Mineiro
Modalidade: Pesquisa
Formato: Artigo Completo

Resumo

O eletroencefalograma (EEG) é nos dias de hoje, o exame com maior precisão no diagnóstico de distúrbios e anomalias neurológicas. Através de eletrodos colocados sobre o couro cabeludo, ele captura as atividades cerebrais em tempo real de forma não invasiva e pode registrar todas as informações em forma de gráficos. Alguns estudos recentes, perceberam que esses gráficos podem ser transformados em redes complexas, mapeando-os com o uso do método de visibilidade e de recorrência em suas linhas cerebrais. Neste trabalho, iremos transformar os sinais de EEG em redes complexas derivadas da reconstrução dos espaços de fase, com base no conceito de recorrência.

Palavras-chaves: Eletroencefalograma. Redes Neurais. Redes Complexas.

Introdução

Redes complexas são ferramentas fundamentais para analisar sistemas complexos, destacando-se na neurociência, especialmente na interpretação de sinais de eletroencefalograma (EEG). O artigo oferece uma visão resumida dessas redes e sua aplicação bem-sucedida na análise de EEG, discutindo benefícios, desafios e apresentando estudos recentes.

A necessidade crescente de compreender a atividade cerebral complexa e a de-

manda por abordagens mais avançadas na análise de EEG justificam este trabalho. O desafio persistente é compreender as interações dinâmicas entre bilhões de neurônios no cérebro humano e seu impacto no comportamento e cognição.

As redes complexas proporcionam uma estrutura poderosa para estudar o cérebro, identificando padrões de conectividade funcional nos sinais de EEG e mapeando redes de comunicação em diferentes estados e condições.

Compreender essas redes na análise de EEG promete avanços significativos na neurociência, fornecendo informações sobre distúrbios neurológicos, permitindo diagnósticos precoces e contribuindo para o desenvolvimento de interfaces cérebro-computador avançadas.

Portanto, este trabalho explora as aplicações das redes complexas na análise de EEG, visando aprofundar nosso entendimento sobre o cérebro humano e suas relações com cognição, comportamento e condições clínicas, impactando o meio acadêmico e clínico.

Objetivos

Este projeto visa utilizar a biblioteca MNE em Python para converter exames de EEG em grafos de redes complexas, possibilitando uma análise mais detalhada da atividade cerebral e das interações neurais.

Os objetivos específicos são:

1. **Familiarização com a biblioteca MNE:** Entender e explorar as funcionalidades da biblioteca MNE, utilizada para análise de dados de EEG. Isso inclui o carregamento, pré-processamento e visualização dos exames de EEG.
2. **Definição de métricas de conectividade:** Identificar e selecionar métricas de conectividade apropriadas para construir grafos de redes complexas a partir dos sinais de EEG, capturando a interação entre diferentes regiões cerebrais.
3. **Construção dos grafos de redes complexas:** Converter os exames de EEG em grafos de redes complexas, onde cada eletrodo é mapeado para um nó e as conexões entre eletrodos são representadas como arestas ponderadas ou binárias.

4. **Discussão e conclusões:** Discutir os resultados em relação aos objetivos do projeto, destacando contribuições para a compreensão da atividade cerebral, limitações e possíveis direções futuras. Apresentar conclusões sobre a viabilidade e relevância da abordagem de redes complexas na análise de sinais de EEG.

Alcançar esses objetivos visa proporcionar um conjunto de ferramentas e conhecimentos para a aplicação de técnicas de redes complexas na análise de EEG, abrindo caminho para novas pesquisas e descobertas na neurociência.

Referencial Teórico

Nesta seção serão apresentados os conceitos básicos para o entendimento do trabalho.

Sinais de Exames de Eletroencefalograma

O eletroencefalograma (EEG) é uma técnica não invasiva amplamente utilizada para registrar a atividade elétrica do cérebro, oferecendo informações importantes sobre a função cerebral em diversas áreas (NIEDERMEYER; SILVA, 2004). O EEG é caracterizado por sua alta resolução temporal e sensibilidade às mudanças na atividade neural. Neste referencial teórico, exploramos os principais componentes do EEG, suas características e aplicações.

Segundo (CARSKADON; RECHTSCHAFFEN, 2005), canais como C3 e C4 são comumente utilizados para distinguir os estágios do sono, mas também é prática comum o uso dos canais O1 e O2 como canais auxiliares.

Fundamentos do EEG

O EEG é o registro elétrico contínuo da superfície do cérebro, onde a intensidade e os padrões dessa atividade são determinados, em grande parte, pelo nível global de excitação resultante do sono, da vigília e sintomas como os da epilepsia (NIEDERMEYER; SILVA, 2004). O sinal EEG é composto por várias frequências, categorizadas em bandas de ondas, cada uma associada a diferentes estados mentais.

A monitorização

A monitorização do EEG é amplamente empregada para registrar e analisar a atividade elétrica do cérebro ao longo do tempo e pode ser aplicado em diversas áreas da medicina, neurociência e pesquisa clínica. Alguns exemplos de aplicação são:

- **Diagnóstico de Epilepsia:** Essencial para diagnosticar e classificar convulsões epiléticas (ALAM; SARKER; GOWERS, 2018).
- **Avaliação de Distúrbios do Sono:** Fundamental para estudar os estágios do sono e diagnosticar distúrbios como apneia do sono (HASSANPOUR; MATTHIS, 2017).
- **Monitorização de Coma e Lesões Cerebrais:** Usado na avaliação de pacientes em coma e na monitorização da recuperação de lesões cerebrais traumáticas (ROSSETTI et al., 2015).

Além das aplicações clínicas, o EEG é importante fonte de dados para estudos em neurociência, como os trabalhos:

- **Estudos de Cognição e Percepção:** Investiga processos cognitivos, como atenção, memória e tomada de decisões (LUCK, 2014).
- **Interfaces Cérebro-Computador (BCIs):** Fundamental para o desenvolvimento de BCIs (WOLPAW; WOLPAW, 2012).
- **Estudos de Desenvolvimento e Envelhecimento Cerebral:** Usado para examinar mudanças nas características das ondas cerebrais ao longo da vida (CABEZA; NYBERG; PARK, 2018).

Redes Complexas

Propriedades

As redes complexas são sistemas compostos por nós interconectados, cuja estrutura pode ser descrita por meio de diversos parâmetros e propriedades. Uma das

características fundamentais das redes complexas é a presença de conectividade não trivial, onde alguns nós possuem mais conexões do que outros, formando uma distribuição de graus que frequentemente segue uma lei de potência (BARABÁSI; ALBERT, 1999).

Outra propriedade crucial é a chamada assortatividade, que descreve a tendência de nós com graus similares a se conectarem entre si. Essa característica é frequentemente observada em redes do mundo real, como redes sociais (NEWMAN, 2002).

Tipos de Redes Complexas

Existem diferentes tipos de redes complexas, cada uma com características específicas que as tornam adequadas para modelar diversos fenômenos. Entre as categorias mais comuns, destacam-se as redes livre de escala, redes hierárquicas e redes modulares (NEWMAN, 2003).

As redes livre de escala são caracterizadas pela presença de alguns nós, denominados hubs, que possuem um número significativamente maior de conexões em comparação com a maioria dos outros nós. Esse tipo de rede é frequentemente associado a fenômenos onde a conectividade é altamente heterogênea, como na World Wide Web (ALBERT; JEONG; BARABÁSI, 1999).

As redes hierárquicas, por sua vez, apresentam uma estrutura organizada em camadas ou níveis, sendo comumente encontradas em sistemas biológicos (RAVASZ; BARABÁSI, 2002).

Já as redes modulares são caracterizadas pela presença de subgrupos distintos de nós, chamados módulos, que têm uma conectividade mais intensa entre si do que com o restante da rede. Essa organização modular é observada em diversas redes biológicas, sociais e tecnológicas (FORTUNATO, 2010).

Redes Complexas com Conceito de Recorrência

Uma extensão interessante das redes complexas é o conceito de recorrência, que adiciona uma dimensão temporal à análise. Redes temporais ou dinâmicas levam em

consideração a evolução das conexões entre os nós ao longo do tempo, permitindo uma compreensão mais profunda de fenômenos dinâmicos (HOLME; SARAMÄKI, 2012).

Metodologia de Pesquisa

Este capítulo desempenha um papel fundamental, fornecendo um guia detalhado sobre como o estudo foi conduzido e quais ferramentas foram utilizadas. Nesta sessão, exploraremos em detalhes os materiais, as técnicas e os procedimentos empregados na aplicação de redes complexas para a análise de sinais de eletroencefalograma (EEG). A compreensão da complexidade intrínseca do cérebro humano e a crescente disponibilidade de dados EEG têm motivado a busca por abordagens mais sofisticadas e eficientes de análise.

Será abordado a aquisição dos dados EEG através de bases de dados públicas, o pré-processamento dos sinais, a construção das redes complexas e as técnicas estatísticas utilizadas para investigar as características fundamentais do cérebro humano. Serão apresentados o desenvolvimento e os resultados, contribuindo assim para o avanço do conhecimento na área de análise de sinais de EEG por meio de redes complexas.

Objeto da Pesquisa

O principal objeto de estudos são exames de eletroencefalogramas, sendo os mesmos catalogados em exames realizados em pessoas saudáveis, e exames realizados em pessoas com epilepsia.

Coleta de Dados

A pesquisa baseia-se em uma variedade de fontes de informação. Elas incluem bases de dados de EEG, como o conjunto de dados PhysioNet (PHYSIONET..., s.d.) e o banco de dados BonnMotion EEG (BONNMOTION EEG DATABASE..., s.d.), que fornecem registros reais de atividade cerebral.

Além disso, a literatura científica de neurociência, processamento de sinais e análise de redes complexas é uma fonte importante de conhecimento teórico e me-

metodológico. Livros, artigos de periódicos, conferências e recursos online também são explorados para adquirir uma compreensão profunda dos métodos utilizados na pesquisa.

O acesso a ferramentas de software, como a biblioteca MNE e o TensorFlow, é essencial para a implementação e análise dos algoritmos. A combinação dessas fontes de informação permite uma abordagem abrangente e embasada para abordar os desafios da pesquisa e alcançar resultados significativos.

Fontes de Informação

Para conduzir esta pesquisa, foram selecionadas fontes de dados de EEG relevantes para experimentação e testes. As seguintes fontes de dados foram utilizadas:

- **PhysioNet:** A plataforma PhysioNet oferece um repositório online com uma ampla variedade de sinais fisiológicos, incluindo dados de EEG. Tivemos acesso a vários conjuntos de dados de EEG por meio desta plataforma, incluindo o banco de dados Sleep-EDF e conjuntos de dados de EEG relacionados a movimento e imagens motoras (PHYSIONET. . . , s.d.).
- **Bonnmotion EEG Database:** Este banco de dados contém gravações de EEG de pacientes com epilepsia, abrangendo dados interictais (registros entre convulsões) e ictais (registros durante as convulsões). A inclusão destes dados enriqueceu nossa análise ao permitir a investigação de padrões em diferentes estados cerebrais (BONNMOTION EEG DATABASE. . . , s.d.).

Natureza da Pesquisa

A pesquisa adota uma abordagem explorativa e qualitativa devido à sua ênfase na compreensão da complexidade subjacente dos sinais de eletroencefalograma (EEG) no contexto da saúde cerebral. Essa escolha metodológica permite a exploração das nuances e das experiências individuais associadas aos pacientes saudáveis e àqueles diagnosticados com epilepsia, levando em consideração não apenas os dados quantitativos, mas também os fatores qualitativos, como as manifestações subjetivas dos

participantes, suas percepções e vivências. A pesquisa qualitativa é apropriada para capturar a riqueza dos dados EEG e fornecer *insights* profundos que não podem ser facilmente obtidos apenas com métodos quantitativos, contribuindo, assim, para uma compreensão mais completa do fenômeno em estudo.

Além disso, a natureza exploratória da pesquisa visa descobrir novos conhecimentos e padrões emergentes nos dados EEG, o que é mais compatível com uma abordagem qualitativa que permite a flexibilidade necessária para investigar de forma aberta e iterativa. Portanto, a pesquisa qualitativa desempenha um papel crucial na nossa investigação, permitindo uma análise aprofundada e uma apreciação abrangente da dinâmica cerebral por meio de redes complexas, com implicações potenciais para o diagnóstico e o tratamento de distúrbios neurológicos.

Desenvolvimento

Este trabalho tem como objetivo principal a importação e análise de exames de Eletroencefalograma (EEG) por meio da conversão desses sinais em redes complexas, com o propósito de identificar recorrências nas ondas cerebrais. O desenvolvimento inicial consistiu na obtenção de bases de dados relevantes de EEG, seguida pela importação desses dados em um algoritmo desenvolvido em linguagem Python.

O software MNE (Magnetoencephalography and Electroencephalography) desempenhou um papel fundamental nesta pesquisa. Trata-se de uma biblioteca de código aberto em Python que oferece uma ampla gama de ferramentas para a análise de dados de EEG e MEG (Magnetoencefalografia). O MNE proporcionou métodos avançados para o pré-processamento, análise e visualização de dados de EEG, o que o tornou uma escolha ideal para nossa investigação.

Pré-processamento dos Dados EEG

A implementação do software de análise começa importando bibliotecas necessárias, como: `mne`, `numpy`, `matplotlib`, `pandas`, `pyts`, `scipy`, e `networkx`. Em seguida, são definidos alguns parâmetros, como `reduzir`, que determina a redução dos dados do EEG.

Leitura e Pré-processamento dos Arquivos EDF

Os arquivos EDF (European Data Format) contendo dados EEG são carregados de uma pasta especificada. Cada arquivo passa por um processo de normalização z-score, transposição para o formato adequado, e aplicação da Análise de Componentes Independentes (ICA) para remover artefatos.

Transformação dos Dados para Gramian Angular Field (GAF)

Os dados EEG são convertidos para Gramian Angular Field (GAF) usando a biblioteca pyts. Essa transformação é útil para representar padrões temporais nos dados em formato de imagem.

Análise dos Dados

Com o uso da biblioteca networkx, o sistema gera um grafo de recorrência com arestas, representando a conectividade entre pixels vizinhos nos dados EEG. Além disso, são gerados grafos direcionados para cada canal do EEG, e um grafo agregado é criado com todas as adjacências.

Para cada canal EEG, também são identificados picos nos dados, que podem indicar padrões significativos. Estes resultados são plotados individualmente para análise adicional.

Exportação dos Dados

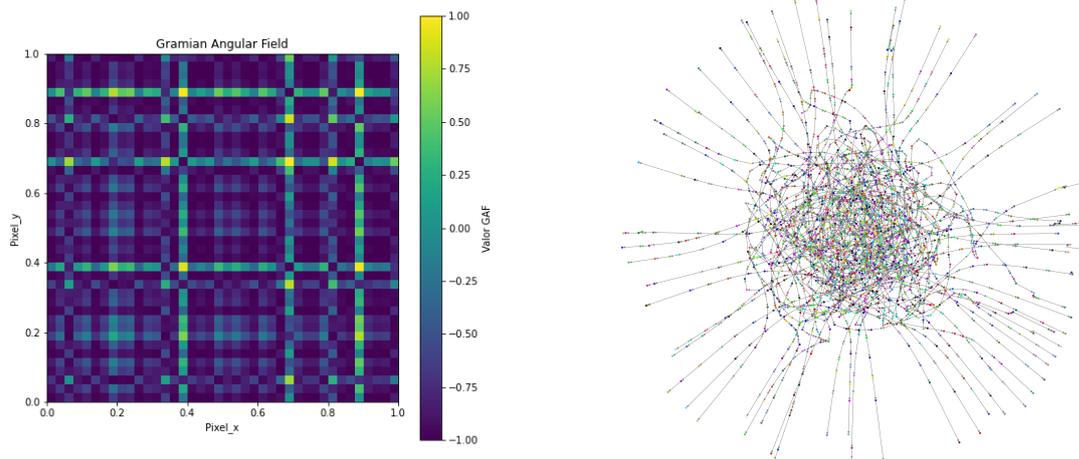
Os resultados do pré-processamento são exportados para arquivos CSV na pasta de exportação. Isso inclui os dados EEG originais, a representação GAF, e também o Mapa de Cores relacionados à GAF (Figura 1a), que demonstra os Picos dos Sinais de Eletroencefalograma.

Os gráficos representando a conectividade e a matriz de adjacência são exportados para arquivos PNG (Figura 1b) e CSV, respectivamente.

Os resultados da análise individual de cada canal são exportados em uma pasta

separa com cada canal gerando um arquivo PNG isolado.

Finalmente, um resumo é gerado, incluindo informações sobre cada arquivo EDF processado, como o nome do arquivo e o número de canais. Todos os resumos são concatenados em um único DataFrame, que é exportado para um arquivo CSV na pasta principal de resumo.



(a) Mapa das Cores.

(b) Vários filhotes.

Figura 1: Representações dos dados exportados pelo algoritmo, sendo (a): a representação dos dados GAF em um Mapa de Cores, demonstrando os picos dos exames de EEG, e (b): a representação dos Grafos gerados na análise do exame, demonstrando as conectividades, com todos os pontos e arestas gerados pela Rede Complexa.

Considerações Finais

A utilização dos resultados desta pesquisa oferece contribuições significativas para a compreensão e o avanço no campo da análise de sinais de eletroencefalograma (EEG) por meio de abordagens baseadas em redes complexas. Os resultados desta pesquisa aplicada fornecerão insights detalhados sobre as características fundamentais do cérebro humano em diferentes contextos, incluindo exames realizados em pessoas saudáveis e em pacientes diagnosticados com epilepsia. Essas informações são valiosas para a comunidade científica e médica, pois podem aprimorar a capacidade de diagnóstico e tratamento de distúrbios neurológicos.

Além disso, os resultados desta pesquisa têm o potencial de influenciar a forma

como os dados EEG são coletados, pré-processados e analisados, oferecendo orientações práticas para pesquisadores e profissionais de saúde que trabalham com EEG. A utilização dos resultados pode levar ao desenvolvimento de abordagens mais sofisticadas e holísticas para a análise de EEG, possibilitando uma avaliação mais precisa e abrangente do estado cerebral. Isso pode resultar em melhorias nos protocolos de tratamento e intervenções personalizadas para pacientes com distúrbios neurológicos, impactando positivamente a qualidade de vida desses indivíduos. Em resumo, os resultados desta pesquisa têm o potencial de promover avanços significativos na área da neurociência e no tratamento de condições neurológicas, tendo um impacto direto na saúde e no bem-estar das pessoas.

Referências Bibliográficas

- ALAM, M.; SARKER, T.; GOWERS, S. Diagnosis and classification of seizures and epilepsy. **Epilepsy**, v. 8, p. 111, 2018.
- ALBERT, R.; JEONG, H.; BARABÁSI, A.-L. Internet: Diameter of the World-Wide Web. **Nature**, v. 401, n. 6749, p. 130–131, 1999.
- BARABÁSI, A.-L.; ALBERT, R. Emergence of scaling in random networks. **Science**, v. 286, n. 5439, p. 509–512, 1999.
- BONNMOTION EEG DATABASE. [S.l.: s.n.].
http://www.bbci.de/competition/iv/#data_set_IVa. Acessado em: 21/09/2023.
- CABEZA, R.; NYBERG, L.; PARK, D. **Cognitive Neuroscience of Aging: Linking Cognitive and Cerebral Aging**. [S.l.]: Oxford University Press, 2018.
- CARSKADON, M.; RECHTSCHAFFEN, A. Monitoring and Staging Human Sleep. In: [s.l.: s.n.], dez. 2005. v. 3, p. 1359–1377. ISBN 9780721607979. DOI: 10.1016/B0-72-160797-7/50123-3.
- FORTUNATO, S. Community detection in graphs. **Physics Reports**, v. 486, n. 3-5, p. 75–174, 2010.

HASSANPOUR, K.; MATTHIS, J. S. Electroencephalography (EEG) and heart rate variability (HRV) for discriminating neurophysiological responses between different mental tasks. **Biomedical Signal Processing and Control**, v. 33, p. 101–108, 2017.

HOLME, P.; SARAMÄKI, J. Temporal Networks. **Physics Reports**, v. 519, n. 3, p. 97–125, 2012.

LUCK, S. J. **An Introduction to the Event-Related Potential Technique**. [S.l.]: MIT Press, 2014.

NEWMAN, M. E. J. Assortative mixing in networks. **Physical Review Letters**, v. 89, n. 20, p. 208701, 2002.

_____. The structure and function of complex networks. **SIAM Review**, v. 45, n. 2, p. 167–256, 2003.

NIEDERMEYER, E.; SILVA, F. L. da. **Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields**. [S.l.]: Lippincott Williams & Wilkins, 2004.

PHYSIONET. [S.l.: s.n.]. <https://physionet.org/about/database/>. Acessado em: 20/09/2023.

RAVASZ, E.; BARABÁSI, A.-L. Hierarchical organization in complex networks. **Physical Review E**, v. 67, n. 2, p. 026112, 2002.

ROSSETTI, A. O. et al. EEG in Postanoxic Coma: Prognostication or Precipitation? **Annals of Neurology**, v. 77, n. 4, p. 757–767, 2015.

WOLPAW, J. R.; WOLPAW, E. W. **Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice**. [S.l.]: Oxford University Press, 2012.