

[Questão (a)]

O dataset Benchmark Dataset, conforme descrito por Wang et al. (2017) e o readme oficial, apresenta as seguintes características principais:

- Dados coletados de 35 participantes (17 mulheres e 18 homens), com idades entre 17 e 34 anos (média de 22 anos).
 - Utilização de 64 eletrodos posicionados segundo o sistema internacional 10-10
 - Frequência de amostragem de 250 Hz ou 1000 Hz.
 - Estímulos visuais em padrão xadrez reverso com 40 frequências distintas (de 8 a 15.8 Hz, com incrementos de 0.2 Hz).
 - Protocolo composto por 6 blocos de 40 trials, totalizando 240 trials por participante e 8.400 no total.
 - Cada trial contém 5 segundos de estímulo visual seguidos por 4 segundos de repouso (tela preta).
 - Estímulos apresentados de forma randomizada entre trials e blocos.
 - Controle preciso do tempo de apresentação via software especializado.
 - Dados organizados em arquivos .mat individuais por participante.
 - Cada arquivo inclui os sinais de EEG, marcações temporais, frequências dos estímulos e metadados experimentais.
-

[Questão (b)]

Foram analisados os sinais de três eletrodos (FP1, C3 e OZ) do participante S1 durante um experimento SSVEP com estímulo visual em 12Hz, conforme descrito no método. Os resultados obtidos mostram padrões distintos em cada região analisada, conforme detalhado a seguir.

1. Eletrodo OZ (região occipital):

Os gráficos deste eletrodo apresentaram os resultados mais significativos. Na análise temporal, observou-se um padrão oscilatório claro durante o período de estímulo. A transformada de Fourier revelou um pico espectral bem definido em 12Hz, exatamente na frequência do estímulo aplicado. O periodograma de Welch confirmou esta resposta, mostrando máxima densidade espectral nesta frequência. O espectrograma demonstrou que esta atividade se manteve estável durante todo o tempo de estímulo, caracterizando uma típica resposta SSVEP. Além disso, foi possível identificar a harmônica em 24Hz, o que reforça a qualidade da evocação.

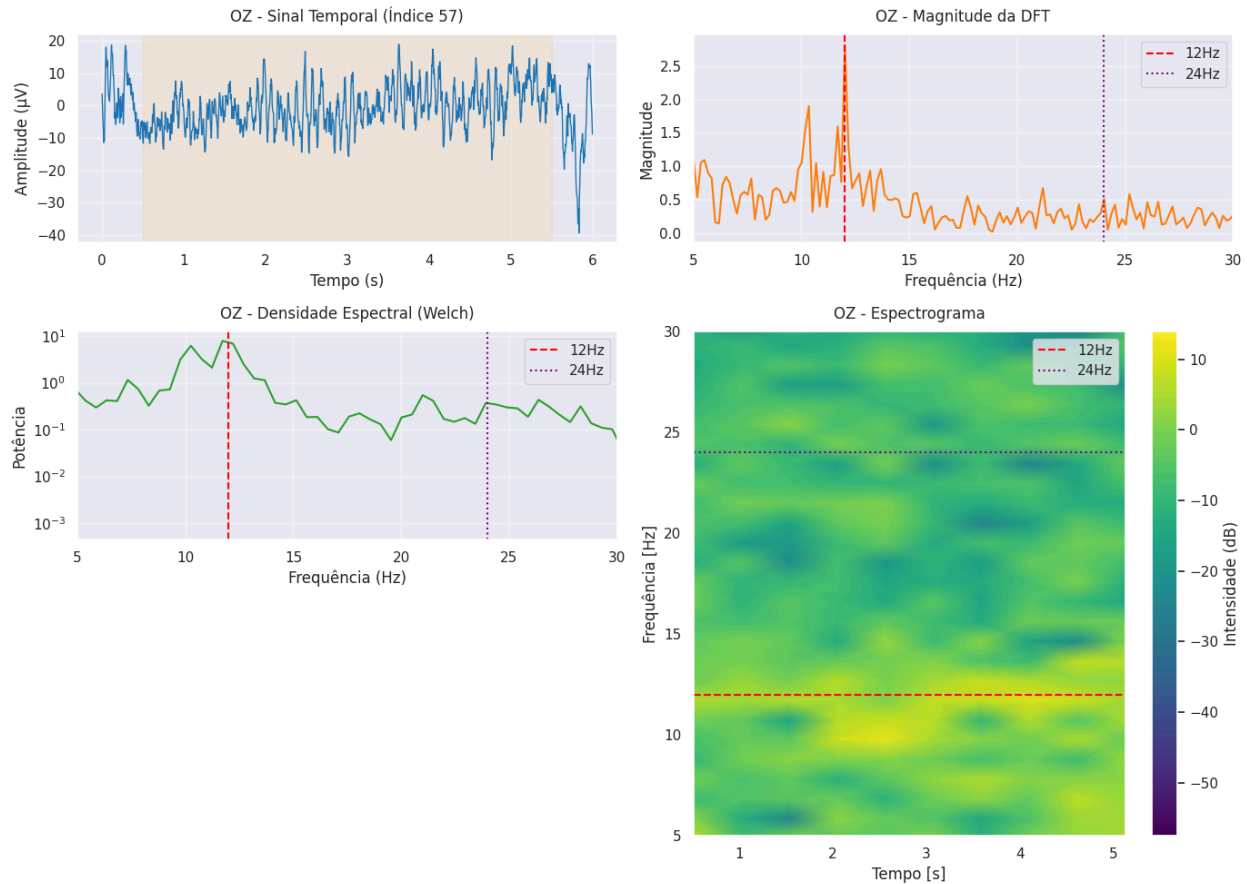


Figura do eletrodo OZ

2. Eletrodo C3 (região central):

Este eletrodo, localizado sobre a área motora, apresentou resultados distintos. A análise no domínio do tempo mostrou oscilações menos regulares. A DFT revelou picos menos pronunciados, sem a mesma clareza observada no OZ. O método de Welch mostrou uma distribuição espectral mais difusa, sem o pico marcante em 12Hz. O espectrograma corroborou estes achados, mostrando atividade menos organizada. Estes resultados são consistentes com o esperado para esta região, que não está diretamente envolvida no processamento visual.

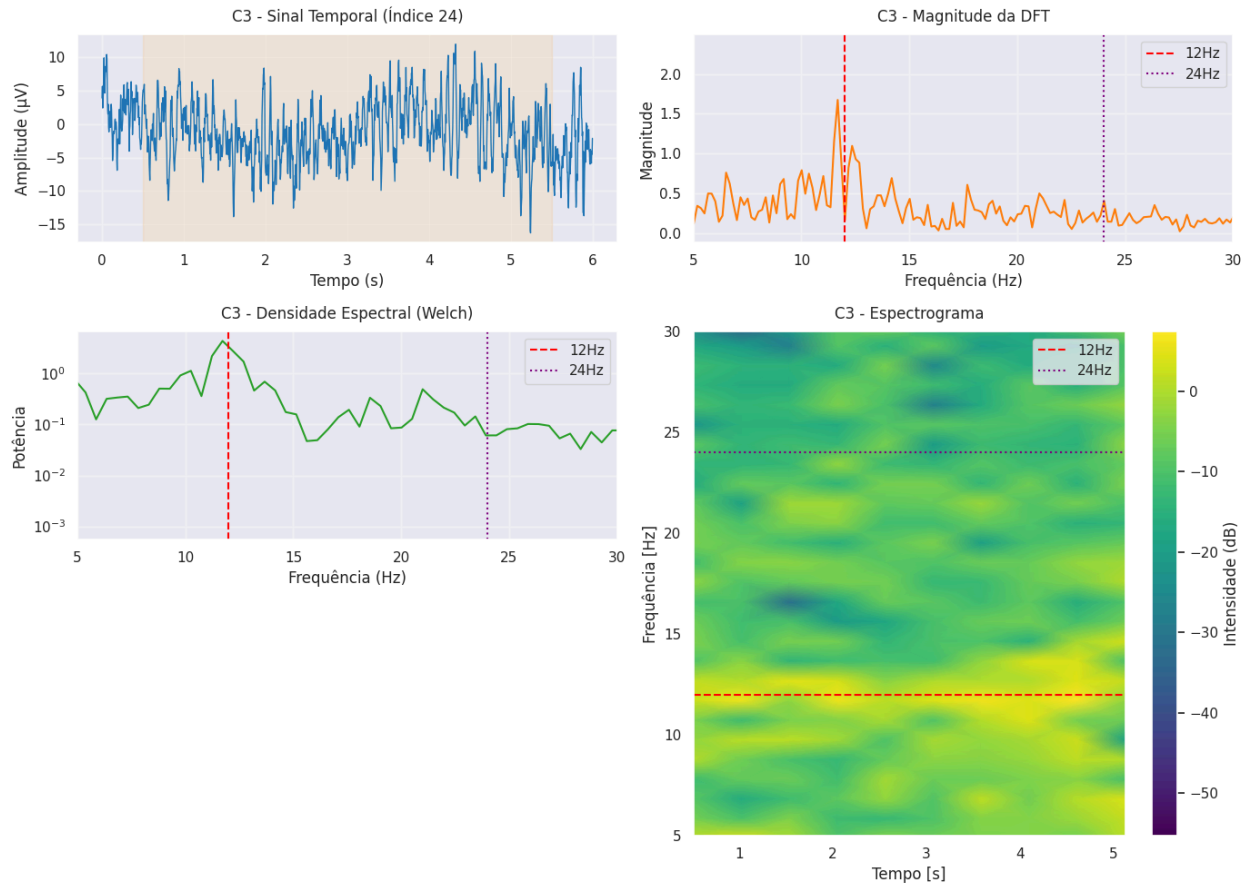


Figura do eletrodo C3

3. Eletrodo FP1 (região frontal):

A análise deste eletrodo mostrou os resultados menos expressivos. A DFT revelou picos pouco definidos, e o periodograma de Welch mostrou uma distribuição de potência mais uniforme ao longo do espectro. O espectrograma apresentou maior variabilidade e ruído. Estes achados são compreensíveis, pois a região frontal está menos relacionada ao processamento de estímulos visuais e mais sujeita a artefatos como movimentos oculares e musculares.

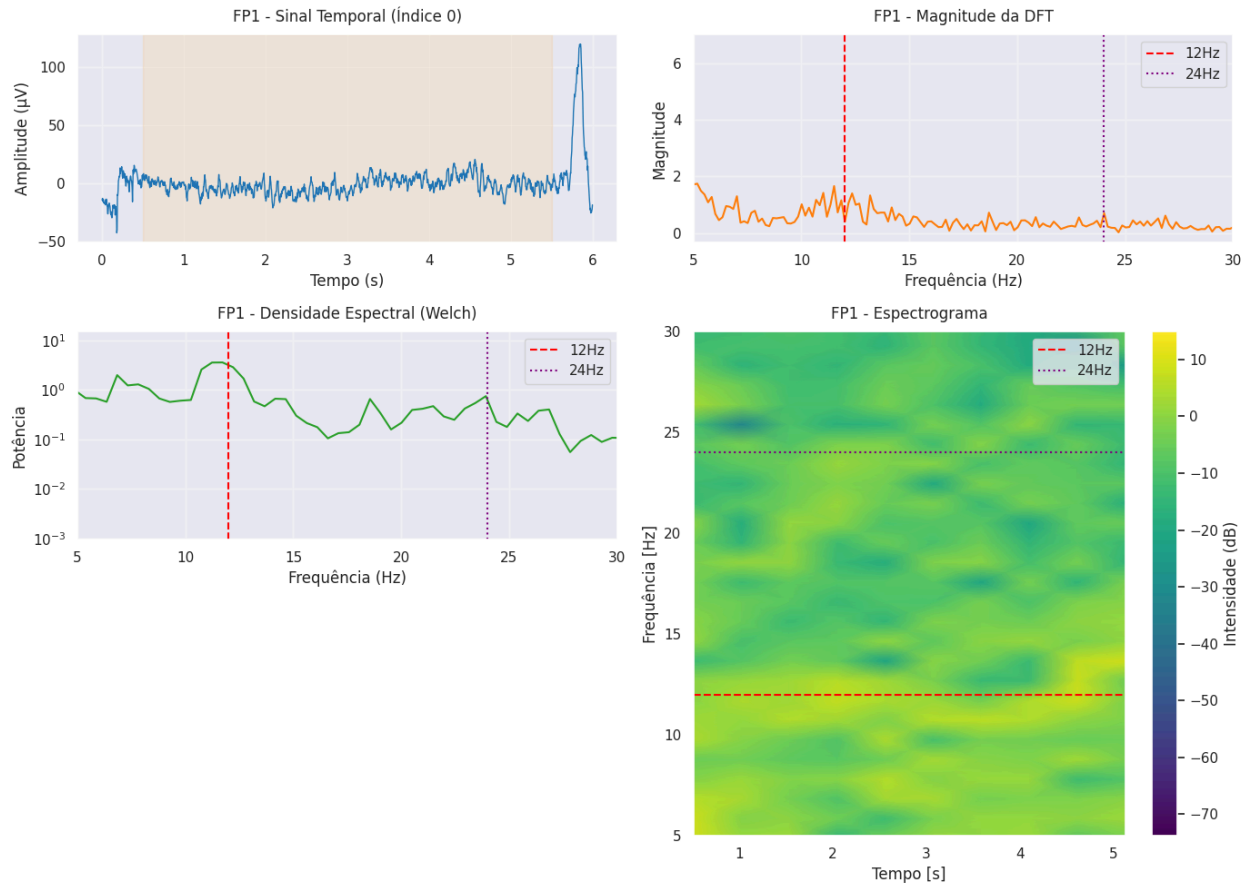


Figura do eletrodo FP1:

Considerações Finais

Os resultados obtidos demonstram claramente a importância da seleção adequada dos eletrodos em protocolos SSVEP. A região occipital (OZ) mostrou-se claramente responsiva ao estímulo visual periódico, com padrões típicos de SSVEP. As outras regiões analisadas apresentaram respostas menos evidentes, conforme esperado por sua localização e função. A presença da harmônica em 24Hz no OZ reforça a qualidade dos dados obtidos e a efetividade do protocolo utilizado. Estes achados estão em perfeita concordância com a literatura científica da área, que descreve a região occipital como a principal responsável pelas respostas SSVEP.

[Questão (c)]

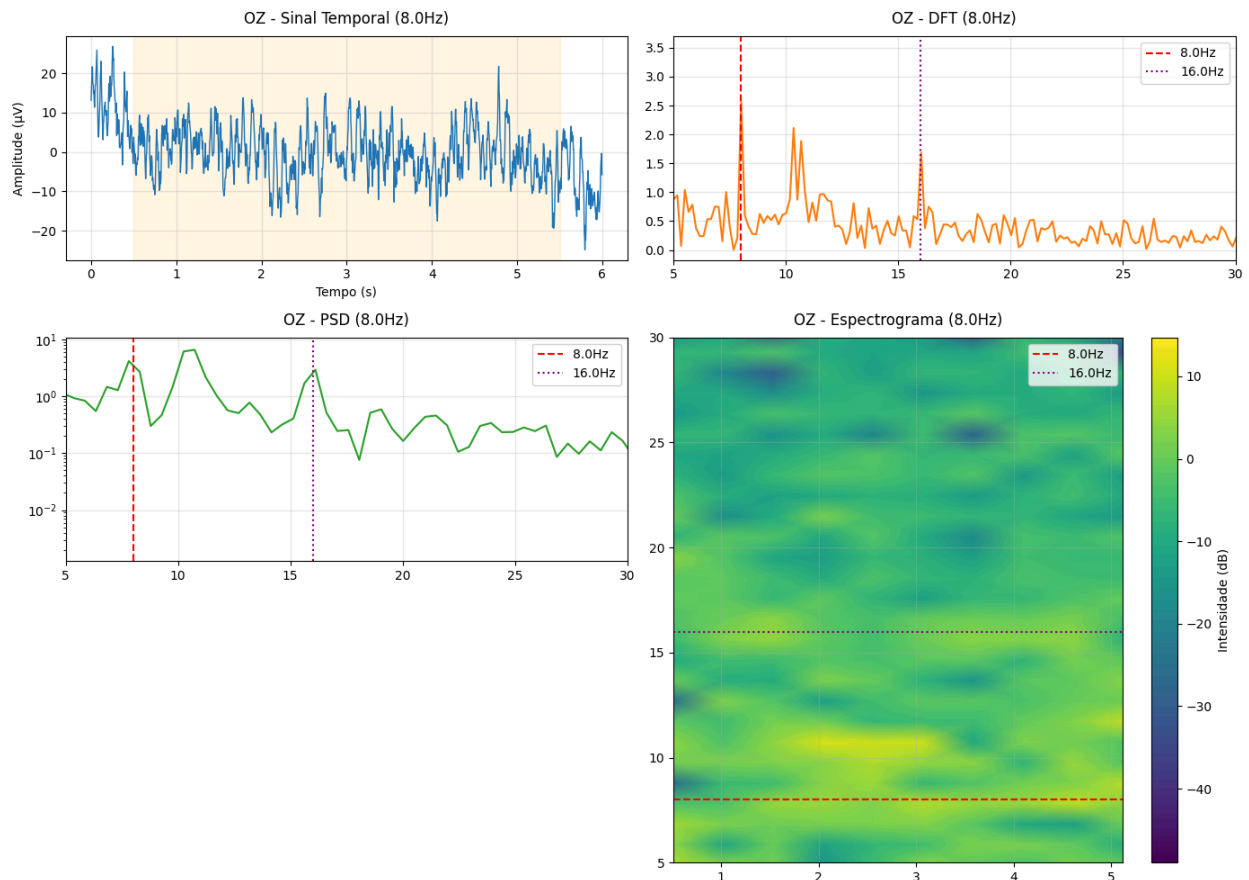
A análise foi realizada com os dados do participante S1, utilizando o eletrodo OZ (occipital) na sessão 1, com estímulos nas frequências de 8 Hz, 12 Hz e 15 Hz. Para cada frequência, foram analisadas as respostas neurais no domínio temporal e espectral, incluindo as harmônicas correspondentes (16 Hz, 24 Hz e 30 Hz, respectivamente). Ao comparar os

gráficos, a resposta ao estímulo de **12 Hz se destaca como a mais clara e robusta**. O sinal temporal apresenta uma oscilação mais bem definida, e tanto a DFT quanto a densidade espectral (PSD) revelam picos acentuados exatamente na frequência do estímulo e também na harmônica (24 Hz), o que indica uma resposta neural consistente e sincronizada. No espectrograma, essa atividade aparece de forma sustentada ao longo do tempo, reforçando a eficiência da frequência em evocar o potencial.

Para **8 Hz**, há uma **resposta visível, mas com menor intensidade e harmônica discreta**, sugerindo uma **correspondência mais fraca**. Já com **15 Hz**, o **pico na frequência fundamental é menos definido**, e a ausência de resposta na harmônica (30 Hz) aponta para uma **menor eficácia** em estimular o córtex visual. No geral, a frequência de 12 Hz demonstrou o melhor engajamento do cérebro ao estímulo visual, com sinais mais limpos e resposta espectral mais forte.

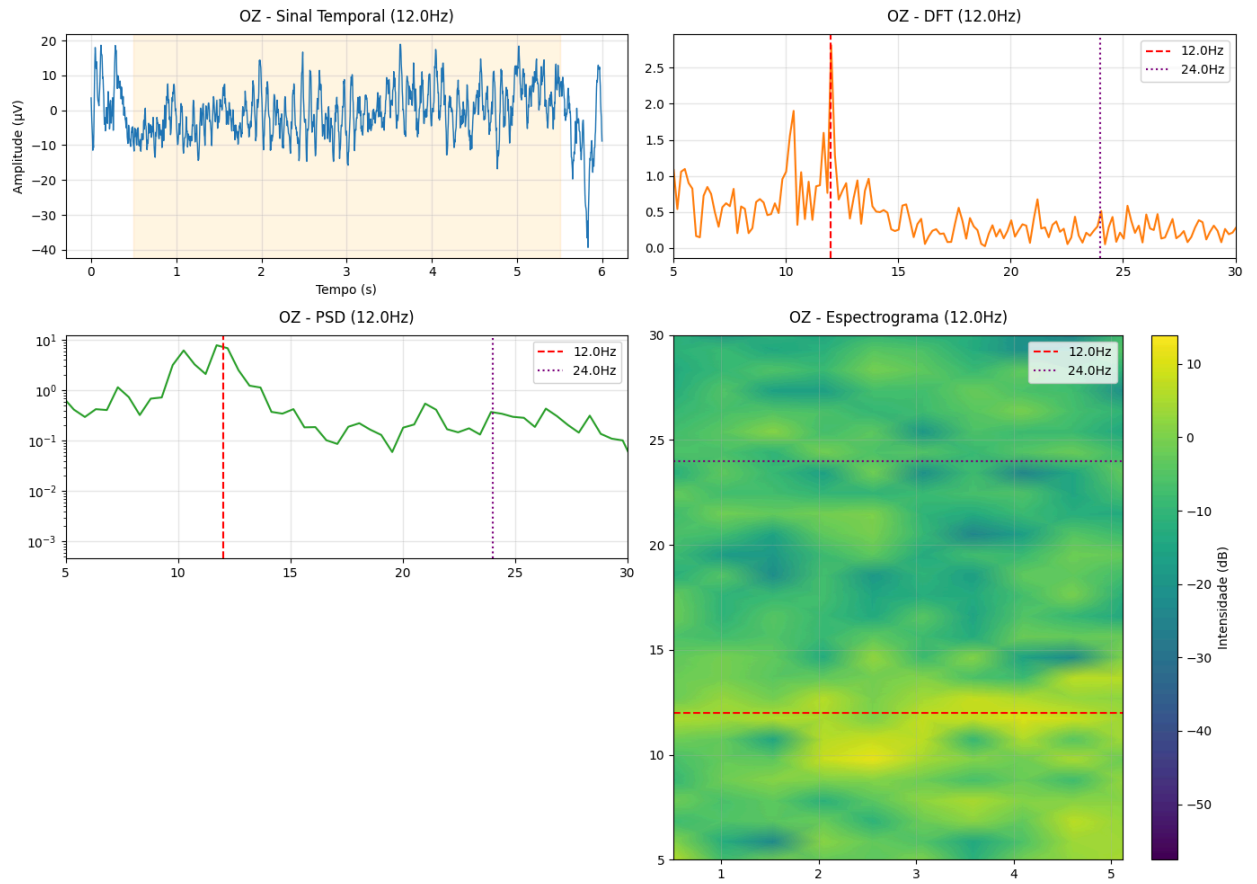
Plote do eletrodo OZ (índice 57) - Sessão 1

- Frequência do estímulo: 8.0Hz
- Harmônica esperada: 16.0Hz



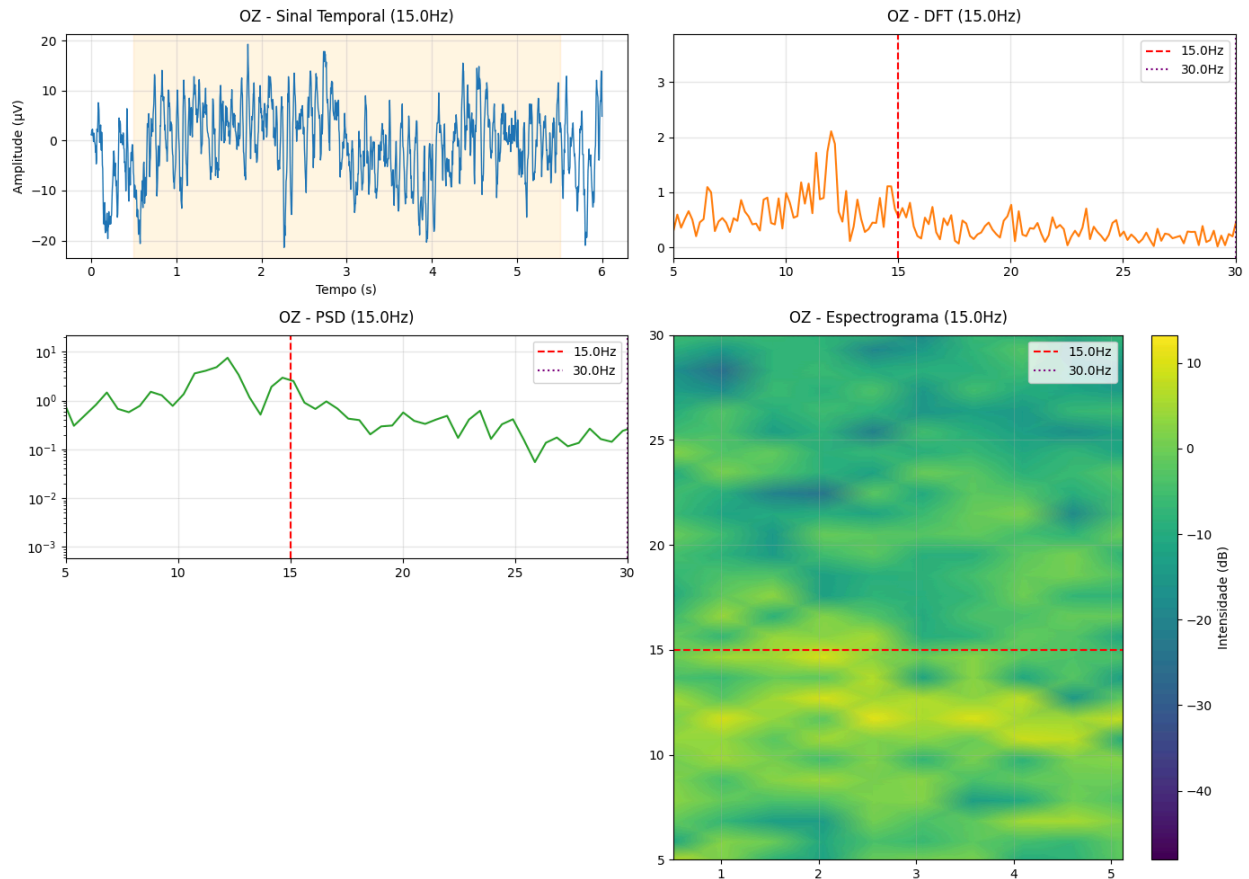
Plote do eletrodo OZ (índice 57) - Sessão 1

- Frequência do estímulo: 12.0Hz
- Harmônica esperada: 24.0Hz



Plote do eletrodo OZ (índice 57) - Sessão 1

- Frequência do estímulo: 15.0Hz
- Harmônica esperada: 30.0Hz



[Questão (d)]

Na comparação entre os dois trials do participante S01, analisando a resposta cerebral a 12Hz no eletrodo OZ, os gráficos revelam padrões consistentes com variações esperadas em experimentos SSVEP. O sinal temporal mostra formas de onda similares em ambos os trials, mantendo o padrão oscilatório característico da frequência de estímulo, embora com pequenas diferenças na amplitude que podem refletir ajustes naturais na atividade neural ou mínimas variações na fixação visual.

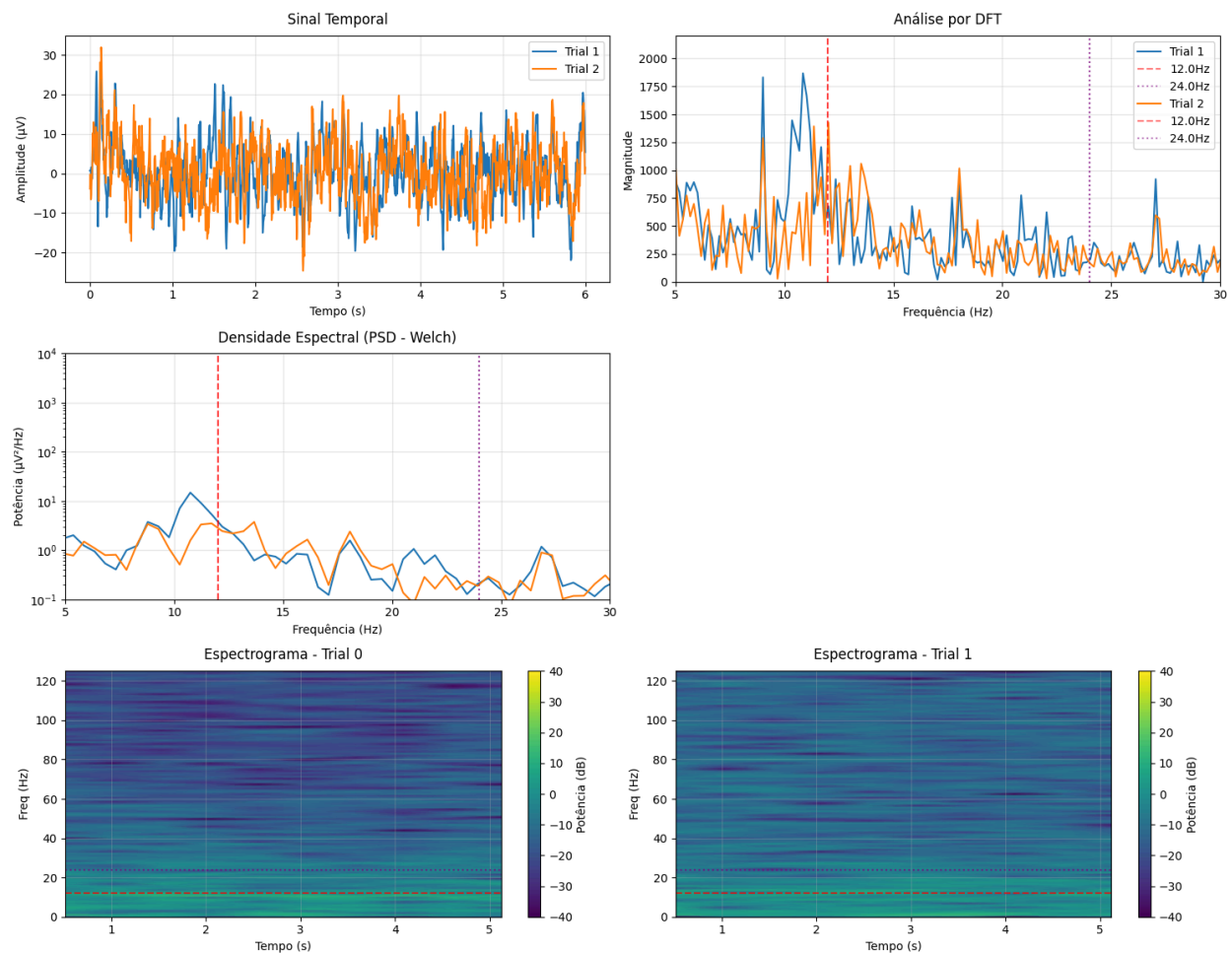
Os espectrogramas demonstram claramente a ativação esperada em 12Hz e sua harmônica em 24Hz, com padrões temporais de energia comparáveis entre os trials. A análise espectral (PSD e DFT) confirma a presença desses componentes, mas revela uma particularidade interessante: enquanto a PSD mostra picos estáveis nas frequências-alvo, a DFT indica que a frequência de maior magnitude aparece em valores baixos (0.83Hz no Trial 1 e 1.17Hz no Trial 2), sugerindo a presença de componentes de baixa frequência que não interferem significativamente na resposta SSVEP.

As diferenças entre os trials seguem o esperado para este tipo de registro. O Trial 1 apresenta um sinal ligeiramente mais definido, com maior estabilidade na frequência

fundamental, enquanto o Trial 2 mostra pequenas variações que podem estar relacionadas a mudanças no estado de atenção ou a adaptação ao estímulo repetido. Apesar disso, a manutenção dos padrões fundamentais em ambos os trials - visíveis tanto nos gráficos temporais quanto nas análises de frequência - atesta a qualidade dos dados e a robustez do protocolo experimental.

A consistência geral das respostas observadas nos diferentes tipos de gráficos valida a confiabilidade das medidas, destacando que mesmo com variações normais entre sessões, as características essenciais da resposta neural ao estímulo SSVEP permanecem reconhecíveis e estáveis.

Análise SSVEP - 12.0Hz no OZ



[Questão (e)]

A comparação dos sinais de EEG no eletrodo OZ entre um participante experiente (S01) e um inexperiente (S09), durante a apresentação de um estímulo visual de 12 Hz, revela diferenças marcantes na organização da atividade neural. No domínio temporal, o sinal do participante experiente apresenta uma oscilação mais regular e contínua, com amplitudes moderadas e poucas flutuações abruptas, enquanto o inexperiente exibe um padrão mais irregular, com variações súbitas de amplitude e maior instabilidade ao longo do tempo.

A análise espectral mostra que ambos os participantes apresentam respostas na frequência do estímulo (12 Hz) e em sua harmônica (24 Hz), porém com características distintas. O participante experiente tem um pico mais definido e estreito em 12 Hz, sugerindo uma sincronização neural mais precisa ao estímulo. Já o inexperiente, embora também responda à frequência alvo, apresenta um pico mais alargado e uma harmônica relativamente mais proeminente, indicando possivelmente um processamento visual menos eficiente ou a interferência de outros componentes neurais.

Os espectrogramas complementam essa análise, revelando que a resposta do participante experiente mantém-se estável ao longo do tempo, com atividade consistente na frequência alvo. Em contraste, o inexperiente mostra flutuações na intensidade da resposta, com períodos de maior e menor ativação, o que pode refletir variações no nível de atenção ou na adaptação ao estímulo. Essas diferenças visuais nos gráficos sugerem que a experiência prévia com BCIs está associada a padrões neurais mais organizados e estáveis em resposta a estímulos rítmicos, enquanto a falta de experiência pode resultar em respostas mais variáveis e menos sincronizadas.

Comparação EEG Occipital (OZ) - 12.0Hz

