

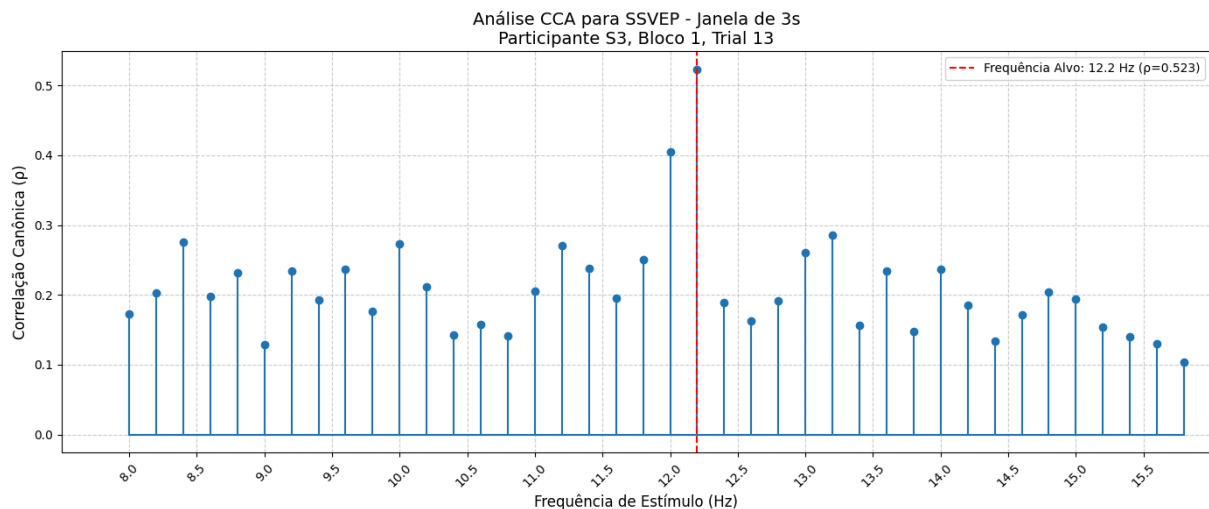
[Questão (a)]

Saída:

Frequência alvo: 12.2 Hz

Frequência detectada: 12.2 Hz

Correlação máxima (ρ): 0.5227



Considerações:

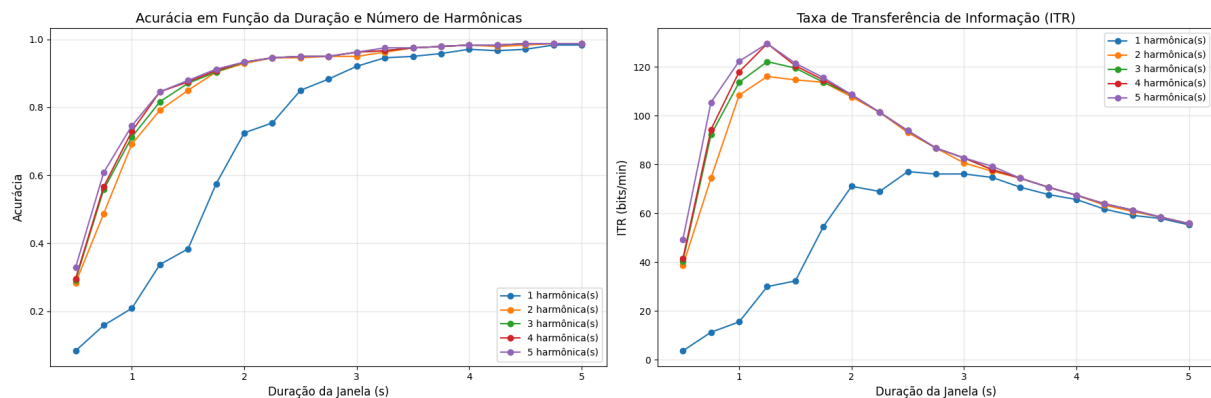
A análise dos resultados obtidos, a partir do gráfico e dos valores numéricos, demonstra que houve uma identificação correta do estímulo. A maior correlação canônica, com valor de $\rho = 0.523$, ocorreu exatamente na frequência alvo de 12.2 Hz, coincidindo com o estímulo apresentado no trial analisado.

Esse resultado é evidenciado pela presença de um pico claro no gráfico na posição de 12.2 Hz e por um valor de ρ significativamente maior do que nas demais frequências. Esse valor de $\rho = 0.523$, calculado para uma janela de 3 segundos, está dentro do esperado para participantes experientes, como o participante S3, e para frequências médias como 12.2 Hz, que geralmente produzem boas respostas no contexto de SSVEP.

Além disso, observa-se uma boa seletividade do método, já que as correlações para as outras frequências permaneceram abaixo de 0.3, valor típico para não-alvos, o que demonstra que o CCA foi capaz de discriminar adequadamente o estímulo alvo, sendo que a janela de 3 segundos se mostrou adequada para essa análise.

Dessa forma, conclui-se que o método CCA aplicado com uma janela de 3 segundos foi eficaz na identificação do estímulo SSVEP de 12.2 Hz no participante S3, resultado confirmado pela correta classificação da frequência alvo, pela alta correlação canônica na frequência esperada e pela boa separação entre o alvo e as demais frequências.

[Questão (b)]

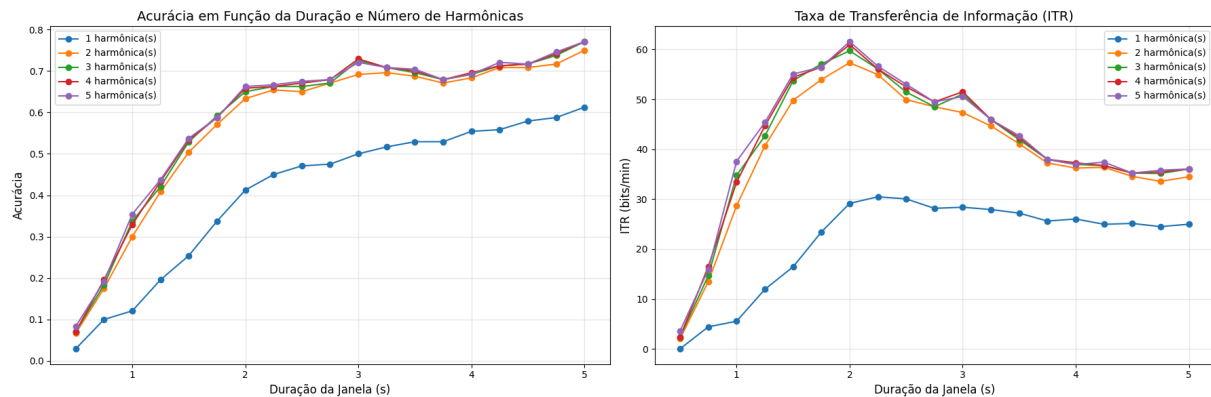


A análise dos gráficos obtidos permite observar de forma clara a influência da duração da janela e do número de harmônicas tanto na acurácia quanto na Taxa de Transferência de Informação do sistema. No gráfico de acurácia, verifica-se que, para todas as configurações de número de harmônicas, há um aumento significativo na acurácia conforme a duração da janela cresce. Esse crescimento é mais acentuado até aproximadamente 2 segundos, ponto a partir do qual os valores tendem a se estabilizar próximos de 100% quando se utilizam três ou mais harmônicas. Observa-se que, com apenas uma harmônica, a acurácia permanece consideravelmente inferior para janelas curtas, exigindo tempos maiores para alcançar desempenhos próximos aos obtidos com múltiplas harmônicas. Isso evidencia que o uso de mais harmônicas contribui significativamente para melhorar a robustez do sistema, especialmente em cenários de janelas curtas, onde o volume de informação extraída é menor.

Por outro lado, o comportamento da ITR revela uma dinâmica diferente. Observa-se um crescimento acentuado da ITR até cerca de 1 segundo de duração, seguido de uma redução progressiva à medida que a janela continua aumentando. Esse comportamento é esperado, pois, embora janelas maiores proporcionem maior acurácia, o aumento no tempo de decisão impacta negativamente a taxa de informação transmitida por minuto. Assim, existe um ponto de equilíbrio em torno de 1 a 1,5 segundo, no qual o sistema maximiza a ITR, especialmente quando se utilizam três ou mais harmônicas. Configurações com apenas uma harmônica apresentam, de forma consistente, os piores desempenhos tanto em acurácia quanto em ITR, principalmente para janelas curtas, o que reforça a importância de incluir múltiplas componentes harmônicas na análise dos sinais SSVEP.

De forma geral, os resultados demonstram que a combinação de uma janela com duração moderada (próxima de 1 a 1,5 segundo) associada ao uso de três ou mais harmônicas oferece um balanço ideal entre acurácia e velocidade de comunicação, otimizando o desempenho do sistema de interface cérebro-computador.

[Questão (c)]



A comparação dos resultados dos voluntários 3 e 21 mostra um padrão esperado em sistemas SSVEP, mas com diferenças claras de desempenho. Ambos apresentam aumento de acurácia conforme cresce a duração da janela e o número de harmônicas, enquanto a ITR atinge seu valor máximo em janelas mais curtas e depois vai caindo.

Mesmo seguindo o mesmo padrão, o voluntário 3 tem desempenho consistentemente melhor. Ele chega a **80%** de acurácia com janela de 5 segundos e 5 harmônicas, enquanto o voluntário 21 atinge no máximo **70%** nessas mesmas condições. Essa diferença de cerca de 10% se mantém em várias configurações e é ainda maior quando a janela é bem curta (menor que 1 segundo), chegando a 15-20% a menos para o voluntário 21.

Na ITR, o voluntário 3 alcança aproximadamente 120 bits/min com janela de 1 segundo e 5 harmônicas, enquanto o voluntário 21 chega perto de **100 bits/min.** Essa diferença reflete uma resposta neural menos eficiente do voluntário 21 aos estímulos. Além disso, enquanto o voluntário 3 praticamente não melhora mais após usar 3 ou 4 harmônicas, o voluntário 21 continua se beneficiando da quinta harmônica, o que indica que ele precisa desses componentes extras para compensar a qualidade mais baixa do sinal.

Os resultados mostram que o voluntário 21 precisa de configurações mais conservadoras, como janelas um pouco maiores (entre 1,5 e 2 segundos) e o uso de todas as harmônicas, para ter um desempenho bom. Já o voluntário 3 consegue bons resultados mesmo com janelas menores e menos harmônicas. Isso reforça como é importante ajustar os parâmetros dos sistemas BCI para cada pessoa, buscando sempre equilibrar velocidade e precisão de acordo com as características individuais.