



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido
para avaliação no Edital: 04/2022

Título: Mecanismos de memória associados a dependência serial na integração visuomotora

Palavras-chave: eletroencefalografia, timing, interceptação, potencial evocado visual

Área de conhecimento do projeto: Ciências Humanas, Psicologia Experimental

1. Resumo

A reprodução ou julgamento de estímulos na tentativa atual são enviesados em direção à tentativa anterior em tarefas mnemônicas. Este viés é conhecido como dependência serial, contudo, os mecanismos responsáveis por possibilitar essa influência entre tentativas não são completamente conhecidos. Tarefas de interceptação, em que participantes realizam uma coincidência temporal entre sua resposta e o choque de um alvo em movimento com uma barreira, também exibem o fenômeno da dependência serial, porém guardam diferenças importantes em relação a tarefas mnemônicas. Essas diferenças são a inexistência de um período de retenção, a emissão de resposta enquanto o estímulo alvo ainda está na tela, e a ausência de uma instrução explícita de memorização da velocidade do alvo. Desta forma, os mecanismos de armazenamento de informação podem ou não ser compartilhados entre essas tarefas, com uma lacuna na literatura no estudo da última. No presente projeto, propomos explorar o mecanismo de memória de curto prazo envolvido na dependência serial verificada durante a integração visuomotora em uma tarefa de interceptação. Para cumprir este objetivo, realizaremos uma coleta de dados comportamentais com registro concomitante de Eletroencefalografia (EEG) utilizando a apresentação de um estímulo sensorial inespecífico de alta energia, um *ping*, no tempo entre tentativas. O potencial evocado pelo *ping* será utilizado como substrato para classificação da velocidade do alvo na tentativa anterior, e estudo da evolução temporal deste sinal. A decodificação, ou ausência de decodificação deste sinal permitirá inferir os mecanismos e dinâmica de armazenamento da informação.

2. Introdução e Justificativa

Durante tarefas de memória, a reprodução ou julgamento de estímulos na tentativa atual são enviesados em direção à tentativa anterior. Este fenômeno ocorre para uma grande gama de características da percepção visual, como orientações de Gabor (Fischer & Whitney, 2014), cor (Barbosa & Compte, 2020), numerosidade (Fornaciai & Park, 2018) e faces (Liberman, Fischer & Whitney, 2014; Liberman, Manassi & Whitney, 2018). Como a tentativa anterior afeta o comportamento na tentativa presente, um mecanismo de memória precisa ser empregado para armazenar a informação durante os períodos de retenção, resposta e durante o intervalo entre tentativas.

O mecanismo de manutenção de tal traço de memória não é bem conhecido. Há evidências de manutenção da memória de trabalho através de atividade de disparos sustentada no córtex pré-frontal (Constantinidis et al., 2018) e também em outras áreas cerebrais através de atividade seletiva ao estímulo (Sreenivasan, Curtus & D'Esposito, 2014; Riggall & Postle, 2012; Christophel, Hebart & Haynes, 2012; Jerde et al., 2012; Christophel & Haynes, 2014; Christophel et al., 2017). Entretanto, tal atividade persistente de disparos de neurônios nem sempre é detectável em experimentos que evidenciam a dependência serial. Barbosa et al. (2020), por exemplo, falha em decodificar o traço de memória armazenado de uma tentativa para a outra de dados eletrofisiológicos em humanos (eletroencefalografia do escalpo) ou macacos (eletrodos implantados no córtex pré-frontal). Neste trabalho, a atividade neuronal parece ressurgir nos registros após um período silencioso e correlacionar com a magnitude do viés mensurado, fornecendo evidência a proposição de múltiplos modos de armazenagem envolvidos no processo.

Há uma proposta de que os traços de memória silenciosos ao registro eletrofisiológico são indetectáveis por não estarem representados em disparos de neurônios, mas nos pesos das sinapses. Um estímulo sensorial inespecífico de alta energia pode ser usado para ativar toda a rede e, assim, revelar a informação guardada nos pesos sinápticos. De fato, representações na memória de curto-prazo puderam ser decodificadas do sinal de eletroencefalografia (EEG) com esta técnica (Wolff et al., 2015; Wolff et al., 2017). Mais recentemente, os conteúdos da memória em períodos silenciosos foi decodificada da potência de alfa extraída deste mesmo conjunto de dados (Barbosa, Lozano-Soldevilla, Compte, 2021), trazendo alguma dúvida em relação ao mecanismo de armazenamento de memória que está sendo revelado no potencial

evocado pelo impulso sensorial inespecífico. Independentemente, utilizar esta estratégia de impulso sensorial, também chamado de *ping*, facilita a decodificação do traço de memória.

Wolff et al. (2015) usou esta técnica para decodificar os conteúdos de memória de dados de EEG para orientação de estímulos em uma tarefa mnemônica, o que guarda diferenças importantes em relação a tarefas de interceptação. Em primeiro lugar, pretendemos recuperar a informação da tentativa anterior no intervalo entre tentativas, não em um período de retenção de um estímulo para o qual ainda não foi emitida uma resposta, como é o caso em Wolff et al. (2015). Segundo, há uma diferença na forma de aquisição da memória que leva à dependência serial na tarefa de interceptação se comparado a tarefas mnemônicas, em que participantes são orientados a se lembrar de uma característica. Essa diferença reforça a possibilidade de que os modos de armazenagem envolvidos nessas situações podem ser diferentes e a necessidade de investigação do fenômeno. Finalmente, o estímulo inespecífico utilizado por Wolff et al. (2015) guarda algumas características em comum com o objeto a ser memorizado (contraste, luminosidade, orientações), e não sabemos quais características do estímulo principal na tarefa de interceptação precisam ser mimetizadas pelo estímulo de impulso.

Para avançar no estudo dos mecanismos de memória associados a dependência serial em uma tarefa de interceptação, desenharemos um experimento com aquisição concomitante de sinal de EEG em que estímulos de impulso serão empregados entre as tentativas de uma tarefa de interceptação. Empregaremos ao menos um tipo de estímulo de impulso, composto por uma nuvem de pontos em movimento com velocidades semelhantes às utilizadas na tarefa de interceptação. Este estímulo foi previamente investigado pelo grupo de pesquisa em uma tarefa comportamental realizada *online*, para informar o desenho do experimento com aquisição de sinais de EEG que constitui a presente proposta.

3. Objetivos

- Investigar, através de sinais obtidos do eletroencefalograma, os mecanismos neurais que possibilitam o armazenamento da informação responsável pela dependência serial na memória de curto prazo durante o intervalo entre tentativas.
- Proporcionar ao bolsista contato com a área e com as técnicas de coleta de sinais neuronais e de análise de dados, incluindo técnicas de classificação.

4. Metodologia

4.1. Viabilidade

O grupo de pesquisa no qual o projeto será realizado possui grande experiência em coleta de dados de EEG e comportamentais em tarefas de psicofísica. A tarefa de interceptação a ser utilizada nesse projeto já foi também realizada em trabalhos anteriores verificando a detectabilidade do viés de dependência serial. Os efeitos de um estímulo de impulso no comportamento durante a tarefa já foram verificados experimentalmente em uma tarefa *online*. O presente projeto estará atrelado a um projeto de doutorado em execução e já se encontra aprovado pelo Comitê de Ética da UFABC.

4.2. Participantes

A amostra necessária para detecção da dependência serial pode ser definida como 24 participantes com base em uma análise de poder de um teste t unicaudal de poder de 95% e $\alpha = 0.05$ com um d de Cohen de $d = 0.95$ encontrado na literatura (Makin, 2008). Devido a dificuldade em estimar o tamanho de amostra para detecção de diferenças em sinais de EEG, acrescentaremos mais dez participantes, perfazendo uma amostra total de 34 participantes. Todos os participantes deverão ter visão normal ou corrigida ao normal e ausência de histórico de doenças neurológicas e neuropsiquiátricas para inclusão no estudo. Sua participação será voluntária e condicionada a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, já aprovado.

4.3. Aparato experimental

As rotinas de estímulos para os experimentos serão desenvolvidas em Octave com o pacote Psychtoolbox (Brainard, 1997). Os estímulos serão apresentados em um monitor LCD com taxa de atualização de 120Hz. Os experimentos se darão dentro de uma gaiola de Faraday, reservada de luz. Voluntários serão orientados a permanecerem sentados à distância fixa do monitor com a cabeça sobre um descanso de queixo e manter os dedos em descanso sobre os botões de uma caixa de respostas.

O registro de sinais de EEG será adquirido por meio de um amplificador QuickAmp (*Brain Products*) de 68 eletrodos ativos (*actCAP-Brain Products*). Os eletrodos estarão posicionados de acordo com o sistema internacional 10-10. A montagem consistirá de 62 eletrodos sobre o escalpo, mais seis eletrodos extras utilizados como referência e para registro do eletrooculograma (EOG).

4.4. Desenho experimental

O experimento consiste em uma tarefa de interceptação já utilizada previamente. Nele, um alvo se move em velocidade constante da esquerda para a direita na tela em direção a uma barreira (Figura 1). O alvo consistirá em um quadrado vermelho (lado de 0.5 graus visuais) que parte de uma posição inicial no canto esquerdo marcada por um "C", 0.35 graus visuais acima do centro vertical da tela. O alvo aparece brevemente por 200 ms marcando o início da tentativa, e então parte em trajetória retilínea uniforme em direção a uma barreira (30% da altura da tela) com interceptação em 500, 454, 416, 384 ou 357 ms (velocidades de 20, 22, 24, 26 ou 28 graus visuais/s). Definimos também ao menos um dos estímulos de impulso a serem empregados durante o intervalo entre tentativas (ITI) em uma fração das tentativas, que consistirá de uma nuvem de pontos de 0.1 graus visuais de tamanho, da mesma cor do alvo e de movimento retilíneo uniforme com direção e velocidade aleatórias. As velocidades dos pontos serão sorteadas aleatoriamente de passos inteiros entre 20 e 28 graus visuais/s. O ITI terá duração de 1.5 s, em pares de tentativas com *ping*, este tomará 1 s do ITI no centro do intervalo.

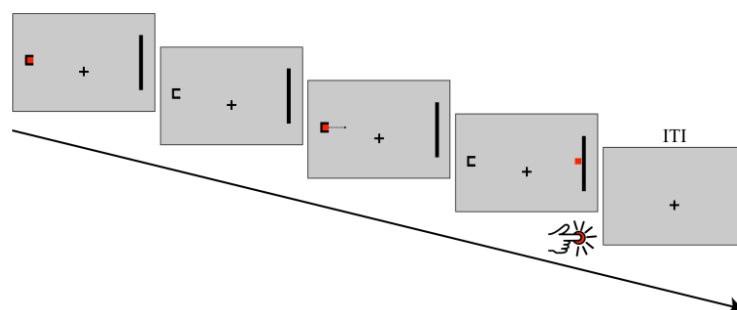


Figura 1. Desenho experimental da tarefa de interceptação. Os *pings* a serem utilizados serão apresentados no meio do intervalo entre tentativas (ITI).

Os voluntários serão instruídos a manter o olhar sobre uma cruz de fixação de mesmo tamanho do alvo desenhada no centro da tela durante toda a trajetória e pressionar o botão de espaço ao mesmo tempo em que o alvo intercepta a barreira a cada tentativa. Serão também instruídos a manter o olhar sobre a tela durante o *ping*. O experimento será construído a partir de miniblocos de 51 tentativas. Em cada minibloco, os tempos para contato serão contrabalanceados utilizando um caminho Euleriano, de modo que cada tempo será precedido por todos os tempos dez vezes (Brooks, 2012), garantindo a independência entre tentativa prévia e atual e o mesmo número de par de tentativas para estimativa da dependência serial. Os participantes serão forçados a esperar 30 segundos entre miniblocos em uma tela de descanso, e encorajados a descansar por mais tempo caso julguem necessário antes de prosseguir. A quantidade de miniblocos e sua disposição em blocos maiores serão definidos no início do projeto, levando em conta o número de estímulos de impulso a serem testados, a qualidade de sinal de EEG esperada durante a sessão e o conforto dos participantes.

4.5. Análises

4.5.1. Análise comportamental

O efeito da tentativa prévia será medido em todos os experimentos por meio da avaliação do Erro Temporal, definido como a diferença entre o instante em que o alvo atinge o obstáculo no final da trajetória e o instante em que o participante aperta o botão. Valores positivos indicam que o participante teve uma resposta atrasada e valores negativos indicam que o participante teve uma resposta adiantada. Este erro temporal será usado como variável dependente no ajuste de uma regressão linear múltipla com o valor da velocidade do alvo na tentativa atual e na tentativa anterior como preditores. Este procedimento será realizado para cada participante e condição (no caso de diferentes estímulos de impulso) separadamente, e será utilizado na análise comportamental inicial. Para investigar em que situações os pesos dados para a velocidade atual e/ou anterior estão sendo modulados pela presença do estímulos de impulso, os valores dos coeficientes angulares desta regressão serão avaliados utilizando testes estatísticos paramétricos como ANOVA e teste-t.

4.5.2. Análise de sinais de eletroencefalograma

A análise do experimento será baseada nos trabalhos de Wolff et al. (2015) e Wolff et al. (2017). Esta análise parte do princípio que, caso a memória de curto prazo esteja sendo mantida em algum tipo de configuração dos pesos sinápticos, então, um mesmo estímulo inespecífico deve gerar uma atividade diferente em função da memória armazenada.

Para testar esta hipótese, treinaremos um classificador na atividade evocada pelo estímulo inespecífico (o *ping*) e testaremos se o classificador é capaz de acertar qual velocidade está sendo armazenada na memória. Em uma segunda etapa, criaremos uma matriz de generalização temporal (King, 2014). Para fazer esta análise, um classificador será treinado em cada instante de tempo após o início de uma tentativa e testado em todos os outros instantes até o início da próxima tentativa. O desempenho do classificador será avaliado por meio da acurácia em classificar a velocidade do alvo em cada tentativa e em cada instante de tempo em que o classificador é testado. Se o estímulo e a informação na memória de curto prazo para a mesma velocidade forem armazenadas utilizando padrões de representação diferentes, esperamos encontrar valores altos de acurácia apenas na diagonal principal da matriz de generalização. Além disso, se a informação na memória de curto prazo é mantida por uma representação latente, esperamos encontrar valores de acurácia acima da chance apenas quando apresentarmos o estímulo não específico durante o intervalo entre tentativas.

Adicionalmente, realizaremos análises exploratórias do sinal de EEG buscando padrões nos potenciais evocados por eventos que possam indicar que a tentativa prévia afeta o sinal da tentativa atual. Exploraremos também a possibilidade de classificação do sinal em outras medidas provenientes do sinal de EEG, como a potência de alfa, em períodos com e sem a apresentação de um *ping*, como realizado no trabalho de Barbosa et al. (2021).

5. Cronograma de Atividades

O cronograma de atividades a serem realizadas pela bolsista está descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Cronograma de atividades a serem realizadas

| | Set. | Out. | Nov. | Dez. | Jan. | Fev. | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Programação e adaptação da tarefa para coleta em laboratório | X | X | | | | | | | | | | |
| Coleta de dados com o EEG | | X | X | X | | | | | | | | |
| Limpeza e curadoria de dados de EEG | | | X | X | X | X | X | | | | | |
| Análise de Dados | | | | X | X | X | X | X | X | | | |
| Redação de relatório | | | | | X | X | | | | X | X | X |
| Revisão bibliográfica | X | X | X | | | | | X | X | X | X | |
| Preparação para publicação | | | | | | | | | X | X | X | X |
| Apresentação no Simpósio | | | | | | | | | | | | X |

Referências

- Barbosa, J., Lozano-Soldevilla, D., & Compte, A. (2021). Pinging the brain with visual impulses reveals electrically active, not activity-silent, working memories. *PLoS biology*, 19(10), e3001436. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001436>
- Barbosa, J., & Compte, A. Build-up of serial dependence in color working memory. *Sci Rep* 10, 10959 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67861-2>
- Barbosa, J., Stein, H., Martinez, R. L., Galan-Gadea, A., Li, S., Dalmau, J., Adam, K., Valls-Solé, J., Constantinidis, C., & Compte, A. (2020). Interplay between persistent activity and activity-silent dynamics in the prefrontal cortex underlies serial biases in working memory. *Nature neuroscience*, 23(8), 1016–1024. <https://doi.org/10.1038/s41593-020-0644-4>
- Bilacchi, C. M., Sirius, E., Cravo, A. M., & de Azevedo Neto, R. M. (2022). Temporal dynamics of implicit memory underlying serial dependence. *Memory & cognition*, 50(2), 449–458. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01221-x>

- Brainard D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial vision*, 10(4), 433–436.
- Brooks J. L. (2012). Counterbalancing for serial order carryover effects in experimental condition orders. *Psychological methods*, 17(4), 600–614. <https://doi.org/10.1037/a0029310>
- Christophel, T. B., & Haynes, J. D. (2014). Decoding complex flow-field patterns in visual working memory. *NeuroImage*, 91, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.01.025>
- Christophel, T. B., Hebart, M. N., & Haynes, J. D. (2012). Decoding the contents of visual short-term memory from human visual and parietal cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 32(38), 12983–12989. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0184-12.2012>
- Christophel, T. B., Klink, P. C., Spitzer, B., Roelfsema, P. R., & Haynes, J. D. (2017). The Distributed Nature of Working Memory. *Trends in cognitive sciences*, 21(2), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.12.007>
- Constantinidis, C., Funahashi, S., Lee, D., Murray, J. D., Qi, X. L., Wang, M., & Arnsten, A. (2018). Persistent Spiking Activity Underlies Working Memory. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 38(32), 7020–7028. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2486-17.2018>
- Fischer, J., & Whitney, D. (2014). Serial dependence in visual perception. *Nature neuroscience*, 17(5), 738–743. <https://doi.org/10.1038/nn.3689>
- Fornaciai, M., & Park, J. (2018). Attractive Serial Dependence in the Absence of an Explicit Task. *Psychological science*, 29(3), 437–446. <https://doi.org/10.1177/0956797617737385>
- Jerde, T. A., Merriam, E. P., Riggall, A. C., Hedges, J. H., & Curtis, C. E. (2012). Prioritized maps of space in human frontoparietal cortex. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 32(48), 17382–17390. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3810-12.2012>
- King, J. R., & Dehaene, S. (2014). Characterizing the dynamics of mental representations: the temporal generalization method. *Trends in cognitive sciences*, 18(4), 203–210. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.01.002>
- Liberman, A., Fischer, J., & Whitney, D. (2014). Serial dependence in the perception of faces. *Current biology : CB*, 24(21), 2569–2574. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2014.09.025>
- Liberman, A., Manassi, M., & Whitney, D. (2018). Serial dependence promotes the stability of perceived emotional expression depending on face similarity. *Attention, perception & psychophysics*, 80(6), 1461–1473. <https://doi.org/10.3758/s13414-018-1533-8>
- Makin, A. D., Poliakoff, E., Chen, J., & Stewart, A. J. (2008). The effect of previously viewed velocities on motion extrapolation. *Vision research*, 48(18), 1884–1893. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.05.023>

- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior research methods*, 51(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Riggall, A. C., & Postle, B. R. (2012). The relationship between working memory storage and elevated activity as measured with functional magnetic resonance imaging. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 32(38), 12990–12998. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1892-12.2012>
- Sreenivasan, K. K., Curtis, C. E., & D'Esposito, M. (2014). Revisiting the role of persistent neural activity during working memory. *Trends in cognitive sciences*, 18(2), 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.12.001>
- Wolff, M. J., Ding, J., Myers, N. E., & Stokes, M. G. (2015). Revealing hidden states in visual working memory using electroencephalography. *Frontiers in systems neuroscience*, 9, 123. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00123>
- Wolff, M. J., Jochim, J., Akyürek, E. G., & Stokes, M. G. (2017). Dynamic hidden states underlying working-memory-guided behavior. *Nature neuroscience*, 20(6), 864–871. <https://doi.org/10.1038/nn.4546>