

**Desenvolvimento e aplicação de um dispositivo para apresentação
de intervalos temporais táteis**

Centro de Matemática, Computação e Cognição

Universidade Federal do ABC (UFABC)

Junho, 2022

Projeto PIC/PIBIC (Edital 04/2022) a ser realizado no Laboratório de Cognição Humana da Universidade
Federal do ABC

Resumo

Perceber o tempo é uma das habilidades mais importantes para animais humanos e não humanos, sendo essencial para a execução de suas tarefas cotidianas. Apesar disso, os mecanismos responsáveis por esse processamento ainda não são conhecidos. Um efeito notável na literatura é o de *assimilação*, que ocorre quando um intervalo aparenta ser mais curto do que realmente é, quando precedido por algum intervalo prévio mais curto. Em um estudo realizado anteriormente, utilizando apenas estímulos auditivos e visuais, constatamos que mudar a modalidade sensorial entre distrator e alvo elimina, em média, a influência que um tem sobre o outro. A partir dessa observação, podemos testar a generalizabilidade desse efeito ao incluir a modalidade tátil.

Sendo assim, no presente trabalho temos como objetivo desenvolver um dispositivo vibratório para uso em pesquisa no Laboratório de Cognição Humana da UFABC, capaz de nos auxiliar a identificar os efeitos da apresentação de estímulos bimodais em uma tarefa de bissecção temporal e possíveis dissociações causadas por efeitos de curto prazo na presença de um distrator em modalidade sensorial diferente das referências e do alvo. O desenho e o software de controle do dispositivo serão publicados online como projeto de *open hardware*.

Ao final do desenvolvimento do aparelho, um pequeno número de voluntários com funções visuais, auditivas e motoras compatíveis com a execução da tarefa desempenharão uma tarefa de bissecção que consiste em indicar a qual das referências os intervalos alvos mais se aproximam: curto ou longo. Uma curva psicométrica será ajustada aos resultados, e os dados serão posteriormente analisados com medidas mais específicas, como o Ponto de Igualdade Subjetivo (PIS). Se o resultado anteriormente obtido com distratores auditivos e alvos visuais, notadamente de um efeito de assimilação exclusivamente intra-modal, for replicado com distratores tácteis, fornecerá evidência forte pela generalizabilidade do fenômeno, com implicações teóricas relevantes.

Palavras-chave: Percepção de tempo; Percepção tátil; Bissecção temporal.

Área de conhecimento: Neurociência; Psicologia Experimental; Psicofísica; Cognição.

Introdução

A habilidade de perceber o tempo é um dos aspectos mais fascinantes presentes em animais humanos e não-humanos. Possuímos evidências de que este processamento está presente em aves, peixes e até mesmo plantas (Cashmore, 2003), desempenhando um papel essencial nas funções sensorio-motoras, como apontam Jazayeri e Shadlen (2015). Essa habilidade é essencial para que os animais interajam e sobrevivam no ambiente no qual vivem, sendo os intervalos na faixa de centenas de milissegundos a segundos os mais críticos para o processamento sensorial e motor, para a aprendizagem e cognição (Buhusi & Meck, 2005; Mauk & Buonomano, 2004; Merchant et al., 2013).

Tendo essas ideias em mente, podemos considerar que a percepção do tempo está entre as primeiras competências desenvolvidas pelos sistemas biológicos, tendo, portanto, afetado a evolução subsequente de quase todas as modalidades cognitivas para além das listadas acima (Paranjpe & Sharma, 2005; Gerstner, 2012), conforme citado por Maniatakis e Trahanias (2014). No entanto, apesar deste aparente lugar de destaque da percepção do tempo dentro do estudo da cognição, os mecanismos neurais que permitem ao cérebro medir e reproduzir intervalos de tempo ainda são amplamente desconhecidos (Barne et al., 2018).

Nas últimas décadas, duas categorias gerais de processamento de tempo foram propostas para tentar descrever como e onde nosso cérebro representa essas informações. O trecho a seguir, também extraído não integralmente e em livre tradução do artigo de Maniatakis e Trahanias (2014) fornece uma breve descrição de ambas as abordagens:

*“A primeira é a abordagem **dedicada** (também conhecida como **extrínseca** ou **centralizada**) que assume uma métrica explícita de tempo (Ivry & Schlerf, 2008). Tradicionalmente, esses modelos seguem uma perspectiva de processamento de informações em que pulsos emitidos regularmente por um marca-passo são armazenados temporariamente em um acumulador, semelhante a um relógio. A segunda abordagem inclui explicações **intrínsecas** (também conhecidas como **distribuídas**) que descrevem o tempo como uma propriedade geral e inerente da dinâmica neural (Buetti, 2011). De acordo com essa abordagem, o tempo é intrinsecamente codificado na atividade de redes de neurônios. Portanto, em vez de usar um circuito neural dedicado ao tempo, o tempo coexiste com a representação e processamento de outros estímulos externos.”*

Ambos os modelos fornecem explicações e previsões interessantes para os fenômenos envolvidos na percepção de tempo, incluindo ilusões, vieses e efeitos comuns, cada um com suas particularidades e especificidades. Um desses efeitos apontados na literatura, é conhecido como *assimilação*, que ocorre quando um intervalo parece mais curto quando precedido por um distrator também curto. Por exemplo, um intervalo de aproximadamente 250ms pode parecer mais curto quando precedido por um intervalo de menor duração (Nakajima et al., 1992).

Esses achados nos sugerem que a percepção subjetiva do tempo é maleável e sujeita a distorções, e que a manipulação experimental desses efeitos pode nos fornecer pistas importantes sobre

os mecanismos subjacentes a essa habilidade. Wehrman et al. (2018) usaram uma tarefa de bissecção temporal para investigar os efeitos da apresentação de um distrator antes de um intervalo alvo. Os voluntários mostraram efeito de assimilação: os julgamentos sobre se um intervalo alvo estava mais próximo de um intervalo de referência longo ou curto foram influenciados em relação ao intervalo distrator visto mais recentemente. É importante salientar que nesse estudo todos os estímulos (referências, distratores e alvos) eram unimodais (todos visuais).

Uma pergunta que naturalmente surge a partir desses achados é: será que a apresentação de distratores em modalidades sensoriais diferentes das referências e do alvo poderia modular esse efeito? Se partirmos do pressuposto de que existe um mecanismo central no cérebro, que faz integração e processamento das informações temporais obtidas pelo sujeito, poderíamos esperar que, independentemente da modalidade sensorial do estímulo distrator, veríamos o aparecimento do efeito na tarefa. Já se não existisse um mecanismo central, assumindo, portanto, que o processamento temporal de cada modalidade sensorial é realizado localmente e de maneira distribuída (i.e., em estruturas relacionadas àquela modalidade sensorial), poderíamos esperar que o efeito aparecesse apenas quando a modalidade do par distrator-alvo fosse congruente.

Em um estudo realizado anteriormente, constatamos que mudar a modalidade sensorial entre distrator e alvo elimina, em média, a influência que um tem sobre o outro. Vale ressaltar que nesse estudo prévio, foram utilizados apenas estímulos auditivos e visuais como distratores, e intervalos auditivos como alvos. A partir deste achado, poderíamos, então, testar a generalizabilidade desse efeito ao incluir a modalidade tátil a partir de estímulos vibratórios (Bajwa & Al Khalili, 2021). Verificar até que ponto os efeitos causados pela presença de um distrator em modalidade sensorial diferente das referências e do alvo, em outra modalidade que anteriormente testada, poderia, então, ajudar a compreender melhor esses mecanismos e fornecer evidências que permitirão o avanço deste campo de estudo. Por isso, as questões abordadas no presente projeto relacionam-se com alguns pontos fundamentais das ciências cognitivas: como processamos a informação temporal e onde ocorre esse processamento.

Dessa forma, esse projeto se situa neste contexto científico, e busca auxiliar na compreensão do processamento temporal em humanos e na elucidação de seus possíveis mecanismos subjacentes, mas também visa desenvolver o instrumentário disponível no laboratório para expandir as possibilidades de estudos, no futuro, quanto às modalidades sensoriais envolvidas.

Objetivos

O presente projeto apresenta o objetivo de desenvolver um dispositivo vibratório para uso em pesquisa no Laboratório de Cognição Humana da UFABC, capaz de nos auxiliar a identificar os efeitos da apresentação de estímulos bimodais em uma tarefa de bissecção temporal e possíveis dissociações causadas por efeitos de curto prazo na presença de um distrator em modalidade sensorial diferente das referências e do alvo. O dispositivo vibratório será caracterizado em termos das propriedades físicas, poderá ser usado em estudos futuros, e o desenho e software de controle será publicado para reprodução em outros laboratórios. Do ponto de vista didático, o projeto visa proporcionar ao aluno de Iniciação Científica o convívio dentro da pesquisa científica em cognição, o introduzindo ao uso de uma plataforma de desenvolvimento de projetos de eletrônica, à linguagem de programação para desenvolvimento de experimento e análise de dados, à coleta de dados comportamentais em humanos e à articulação e escrita.

Metodologia

Hardware e Software do Dispositivo Tátil-Vibratório

Na tecnologia mais acessível para a produção intencional de vibrações, a vibração é gerada a partir da ativação de um motor de corrente contínua com uma massa afixada no eixo de rotação, portanto intencionalmente não-balanceado. Esta tecnologia é chamada de vibração por massa de rotação excêntrica (ERM), e encontrada em componentes de dimensões reduzidas para dar alertas táteis em dispositivos como celulares e *smart watches*, os chamados *vibracalls*.

Como a tecnologia-ERM emprega um motor-DC, os circuitos elétricos para acionar o componente são bem estudados e documentados, e possuem como componentes principais um capacitor e um diodo em paralelo com o motor, para proteger os demais componentes, particularmente o transistor, da tensão inversa ao desligar a carga indutiva, e o transistor, além de resistores limitadores de corrente. Em um circuito de interface com um microcontrolador, o terminal de base do transistor é ligada ao pino usado para acionar o motor, e o terminal coletor a um pino de terra do microcontrolador. No projeto atual, pelo tamanho reduzido do motor de vibração, não há necessidade de uma fonte extra de corrente, como uma bateria a parte.

No mercado, é fácil encontrar módulos que já integram estes componentes. Em comparação com a produção própria do circuito de acionamento do motor de vibração, o emprego do módulo tem

como vantagens: (1) tamanho e peso reduzido, já que o módulo é fabricado a partir de componentes SMD, que são muito pequenos; (2) padronização dos parâmetros elétricos dos componentes e dos materiais utilizados, o que é benéfica para a consistência da caracterização das propriedades físicas do dispositivo; (3) placa impressa com furos para afiação em uma caixa envolvente. No mercado brasileiro, um módulo deste tipo é listado como VM-50, mas fora do país, este módulo também está comercialmente disponível, com as mesmas características físicas e eletrônicas – dimensões 23x21x5mm e motor com 150 rotações por segundo (Figura 1).



Figura 1. Módulo com motor de vibração disponível no mercado.

Além de início e duração da vibração, crucial para a parte científica deste projeto, a intensidade também pode ser controlada. Em aplicações com microcontroladores, a base do transistor – o pino de entrada do módulo – é conectada a um pino com capacidade de produzir correntes em regime de modulação por largura de pulso (*pulse width modulation* ou PWM), que é o ligamento e desligamento em ciclo do sinal digital no pino. Como efeito, esta operação diminui a velocidade do motor, e portanto da vibração. Em um primeiro momento, usaremos a plataforma de desenvolvimento Arduino Nano, por ser compacto e amplamente disponível – eventualmente em versões copiadas com o mesmo microcontrolador, o ATmega328 – e já com porta USB-mini instalada na placa.

Assim, faremos a conexão do módulo ao Arduino Nano, de modo bastante simples: o Vcc vai para um pino de +5V ou +3,3V, dependendo das especificações, como pino 27 no caso do Arduino Nano, e o GND vai para um pino GND do arduino, como o 04. O pino SIG vai para um pino de pulse width modulation ou PWM do Arduino, como D5. Do lado de software, escreveremos um 'driver' em Python 3, que utiliza as funções de comunicação serial (também através de um cabo USB) para mandar parâmetros

de vibração para o arduino, que por sua vez traduz isso em sequências de ligar/desligar o pino PWM, conectado ao pino de SIG do módulo com o motor. O módulo vai ser embutido rigidamente (para não perder a vibração em elasticidade) em uma caixinha de dimensão reduzida, que pode ser usada tanto no pulso (com uma fita-velcro para fixar) ou em cima da mesa, para descansar os pontos dos dedos.

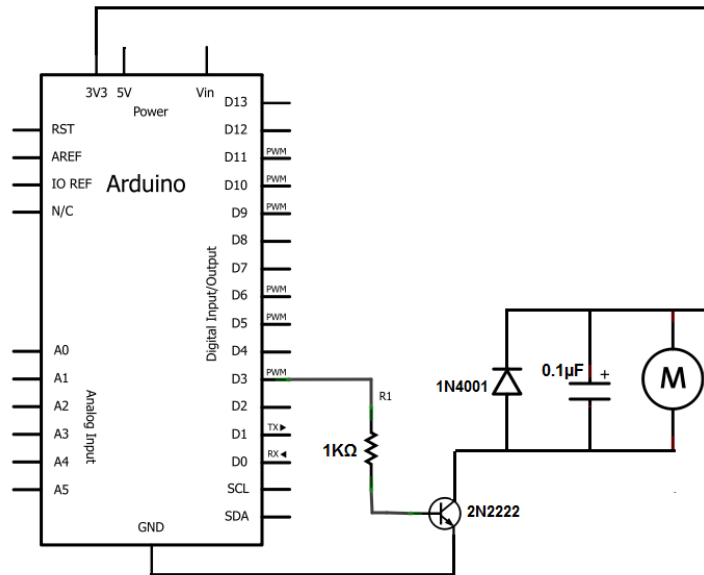


Figura 2. Circuito típico de interface para um motor de vibração. Fonte:

<http://www.learningaboutelectronics.com/Articles/Vibration-motor-circuit.php>

O desenvolvimento da interface na linguagem Python, usando uma biblioteca de comunicação serial, tem a vantagem de integração fácil com pelo menos dois ambientes populares para a elaboração de experimentos comportamentais em humanos que também usam Python como base: o PsychoPy (<https://www.psychopy.org/>; Peirce, 2007), e OpenSesame (<https://www.osdoc.cogsci.nl/>; Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). O software de controle será desenvolvido para, minimamente, controlar início, intensidade e duração da vibração, e possivelmente permitir a produção de padrões mais complexos de vibração, como um intervalo 'vazio' marcado com um *onset* e *offset* vibracional ao invés de uma vibração continuada, mudanças graduais de intensidade (*ramping*), vibração com intensidade pulsada e senoidal, de forma análoga a uma diversidade de padrões temporais comumente usados com estímulos visuais e auditivos.

As características físicas da vibração produzida pelo dispositivo, como, crucialmente, latência para resposta e consistência dos intervalos produzidos, poderão ser investigadas com a ajuda de outros equipamentos disponíveis no laboratório, ou através de colaboração com laboratório de comportamento animal. O pletismógrafo é o transdutor usado em conjunto com o equipamento de conversão AD e

registro fisiológico iWorx (IWX-214), normalmente para medir taxa cardíaca, mas que pode ser usado com alta frequência de amostragem para captar qualquer força mecânica, incluindo sons. Com dois pletismógrafos, é possível captar o início tanto de som quanto da vibração, para visualizar como séries temporais no mesmo computador, e fazer estimativas da fase separando os dois sinais. O formato e intensidade da onda vibratória pode ser registrado através do deslocamento de uma plataforma de força normalmente usada para capturar sobressalto de pequenos roedores (fabricantes Insight e Med Associates).

Todo o projeto, software, e caracterização física serão disponibilizados para a comunidade científica através de uma página dedicada no *world wide web*.

Participantes no experimento

Com instrumentário finalizado, submeteremos o projeto para o estudo comportamental ao Comitê de Ética em Pesquisa da UFABC e realizaremos o experimento comportamental em voluntários humanos saudáveis, que deverão reportar acuidade visual e auditiva normal ou corrigida, percepção tátil regular, assim como condições de saúde compatíveis com a realização do experimento. Utilizaremos como critérios de exclusão o relato de uso recente de substâncias psicoativas, como medicamentos ansiolíticos, e histórico de eventuais acometimentos neurológicos e neuropsiquiátricos. Selecionaremos, após a conclusão do desenvolvimento do recurso vibracional, idealmente um total de 20 participantes voluntários, mediante assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Aparato e Estímulos

Os voluntários realizarão o experimento por meio de computador, no laboratório de psicofísica da UFABC (Laboratório de Cognição Humana). As rotinas e os estímulos serão apresentados através de uma ferramenta específica para a realização de experimentos psicofísicos denominada PsychoPy (Peirce, 2007). De maneira geral, as apresentações experimentais consistirão em estímulos visuais, auditivos e táteis e uma resposta comportamental fornecida pelo participante através de um teclado. Os detalhes a respeito dos estímulos estão detalhados abaixo. A unidade 'ua' embaixo representa a proporção da dimensão do monitor.

Ponto de Fixação: apresentado no início de cada tentativa experimental ao centro da tela na cor branca e no formato de uma pequena cruz ('+' 0,1 ua) sendo mantido até o final de todas as tentativas experimentais.

Referências: apresentadas no começo de cada bloco experimental na modalidade auditiva nas categorias curta (1000 Hz, 50ms) e longa (1000 Hz, 217ms).

Distratores: apresentados em diferentes blocos ou na modalidade tátil vibratória ou na modalidade auditiva (1000 Hz), podendo em ambas as modalidades serem apresentados nas categorias curta (50ms) e longa (217ms).

Alvo: apresentado em diferentes blocos na modalidade auditiva (1000 Hz) tendo duração entre 50 e 217ms em passos lineares (mais detalhes abaixo).

Resposta Comportamental: fornecida pelo voluntário ao final de cada tentativa experimental através do teclado. As teclas aceitas como resposta serão os direcionais esquerdo e direito, indicando que o alvo se aproxima mais da referência curta ou longa, respectivamente.

Desenho Experimental

Depois de preencher um formulário contendo informações básicas, instruções gerais e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, os voluntários sentarão em frente a um computador e responderão a cada tentativa utilizando o teclado. O procedimento será dividido em duas fases: treino e teste. Durante o treino, apresentaremos instruções detalhadas sobre a tarefa e alguns blocos para que se acostumem com os estímulos utilizados no experimento. O voluntário não receberá feedback a respeito de seu desempenho em nenhuma das duas fases.

O experimento consistirá em quatro blocos de tentativas, podendo conter apresentações de distratores auditivos ou táteis vibratórios (Figura 3). O começo de cada bloco será marcado pela apresentação de um ponto de fixação conforme descrito na seção anterior. Depois de 500ms de sua apresentação, habituaremos os voluntários às referências auditivas curta e longa. Elas serão apresentadas em pares, sempre em sequência uma da outra e em ordem pseudoaleatória por bloco. Apresentaremos esses pares por 15 vezes. Depois dessa fase de adaptação, os voluntários iniciarão a sequência de tentativas.

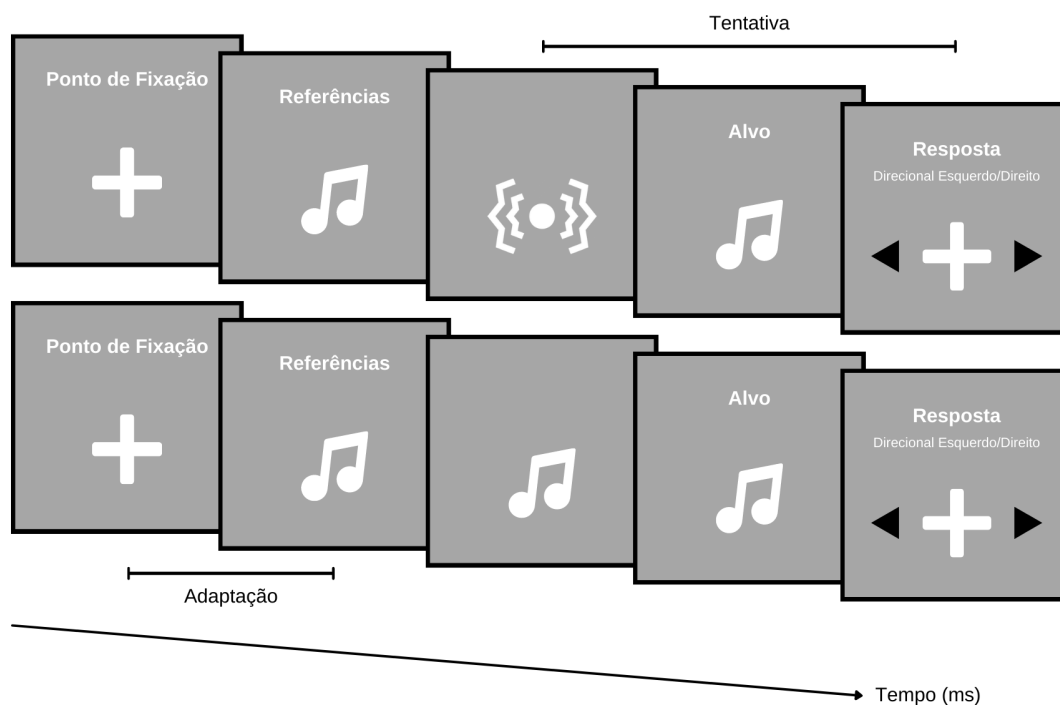


Figura 3. Esquema de um trial experimental para cada tipo de bloco. No início de cada um dos quatro blocos, depois da apresentação de uma cruz de fixação ao centro da tela, os voluntários verão as referências auditivas curta e longa (50 e 217ms, respectivamente) apresentadas uma em seguida da outra por 15 vezes e em ordem pseudoaleatória em cada bloco. Depois deste período de adaptação, os voluntários farão as tentativas experimentais. Os blocos com distratores auditivo e tátil vibratório seguirão a mesma lógica, com a única diferença na modalidade desse mesmo estímulo. Os distratores poderão ser apresentados dentro de um mesmo bloco com duração curta ou longa (50 e 217ms, respectivamente) de maneira pseudoaleatória. Depois de 300ms do término do distrator, os voluntários escutarão o alvo sobre o qual deverão fazer sua escolha sempre na modalidade auditiva e com durações possíveis de 50 a 217ms (50, 83, 117, 150, 183, 217ms). Logo em seguida do desaparecimento do alvo, o teclado será liberado para que o voluntário pressione o direcional esquerdo (se achar que o intervalo se assemelha à referência curta) ou direito (se achar que o intervalo se assemelha à referência longa). É importante salientar que a fase de adaptação acontecerá apenas no início de cada bloco, sendo seguida por todos os trials experimentais.

A tarefa consistirá numa escolha forçada *match-to-sample*. Cada tentativa apresentará um ponto de fixação, seguido depois de 500ms de um distrator, que pode ser auditivo ou tátil vibratório a depender do bloco, e por um intervalo alvo depois de 300ms a partir do desaparecimento do distrator, que é sempre auditivo. Apesar da modalidade (visual ou tátil vibratória) de um distrator ser mantida constante durante um bloco inteiro, sua duração (curta ou longa) será pseudoaleatória, podendo mudar a cada tentativa. O alvo poderá assumir valores de 50 a 217ms com passos de ~33ms dentro de uma escala linear (i.e., 50, 83, 117, 150, 183, 217ms). Ao final da apresentação do alvo, os voluntários poderão pressionar a tecla direcional esquerda se julgarem que o alvo está mais próximo da referência curta e a tecla direcional direita se o alvo for julgado como mais próximo da referência longa. Eles não terão limite de tempo para fornecer a resposta. Todos os estímulos serão apresentados sobre uma tela

que ocupará todo o *display* na cor cinza (ver *figura acima*). Os experimentos consistirão em seis durações de alvo, e duas de distratores, totalizando 12 pares distrator-alvo. Apresentaremos cada um desses pares por dezesseis vezes, em duas modalidades distintas de distratores, o que totaliza 384 trials experimentais.

Análise de Dados e Resultados Esperados

Num primeiro momento ajustaremos uma curva psicométrica aos dados dos voluntários contendo o tamanho do intervalo alvo como variável independente na abcissa e a probabilidade de dizer que um alvo é longo em relação às referências como variável dependente na ordenada. Ajustaremos uma curva para cada modalidade de distrator, auditivo e tátil vibratório. De maneira geral, esperamos que o padrão dos dados mostre um formato clássico de sigmóide, típico para este tipo de tarefa. Também esperamos que a probabilidade de um voluntário responder que um intervalo é longo aumente conforme aumenta a duração de um intervalo alvo. Duas medidas de qualidade de desempenho serão utilizadas para determinar se o participante está realizando a tarefa: (1) No ajuste da curva psicométrica, a inclinação da curva deverá ser positiva (indicando uma maior proporção de respostas *longas* para intervalos mais longos; (2) Calcularemos o coeficiente de Tjur (uma medida equivalente a um coeficiente de determinação para uma regressão logística) para calcular a qualidade do ajuste. Dados de participantes com valores abaixo de 0.2 serão descartados. Cabe ressaltar que ambos estes critérios são independentes dos resultados do participante em si (mostrar ou não efeitos diferentes para cada modalidade sensorial) e servirão apenas como um controle de qualidade do desempenho.

A partir daí podemos olhar para medidas mais específicas como o Ponto de Igualdade Subjetivo (PIS). Esse é o ponto (i.e., intervalo alvo) onde os voluntários respondem 50% das tentativas como sendo mais próximo da referência curta e 50% como mais próximo da referência longa. Seria o ponto em que o observador teria a maior dúvida sobre qual escolha fazer. De maneira geral, partindo do pressuposto de que não existe nenhum tipo de efeito na tarefa, os PIS deveriam se aproximar da média aritmética dos intervalos alvo, que é de 133 ms.

Sendo assim, caso o efeito de curto prazo aconteça, pode-se supor dois cenários a depender dos resultados obtidos. Se o participante subestimar os alvos independentemente da modalidade do distrator curto que lhe for apresentado (auditivo ou tátil vibratório), podemos inferir a existência de um mecanismo central que integra a informação tátil e auditiva. Nesse caso, as curvas psicométricas deveriam se mostrar deslocadas para a esquerda para ambas as modalidades dos distratores curtos e os PIS seriam menores nos dois casos.

Em contrapartida, o participante pode subestimar apenas os alvos apresentados após o distrator incongruente curto. Nesse sentido, favoreceríamos a hipótese de um mecanismo distribuído de processamento em detrimento de um mecanismo central. Teríamos, nessa situação, curvas psicométricas deslocadas para a esquerda unicamente quando o distrator for incongruente e curto e PIS menores para a modalidade incongruente em comparação à congruente.

Viabilidade

A pesquisa foi projetada para ser executada durante o período do programa PIC/PIBIC conforme o Edital 04/2022, e sua preparação e execução se adequam ao nível de conhecimento do estudante, proporcionando iniciação à pesquisa com perspectiva de continuidade na graduação. Além disso, o aluno será orientado tanto pelos professores orientador e coorientador, como por um aluno do programa de pós-graduação. Quanto ao aparato experimental, com a exceção do dispositivo vibratório a ser desenvolvido, o Laboratório de Cognição Humana da UFABC já possui o necessário para a realização do projeto.

Cronograma

As atividades a seguir foram planejadas para serem realizadas entre 01/09 de 2022 e 31/08 de 2023:

Edital IC 04/2022	Revisão da Literatura	Desenvolvimento dispositivo	Desenho Experimental I	Coleta de Dados	Análise de Dados	Relatório Parcial	Relatório Final
Setembro 2022							
Outubro 2022							
Novembro 2022							
Dezembro 2022							
Janeiro 2023							
Fevereiro 2023							
Março 2023							
Abril 2023							
Maio 2023							
Junho 2023							
Agosto 2023							

Referências

- Bajwa, H., & Al Khalili, Y. (2021). Physiology, vibratory sense. In StatPearls [Internet]. StatPearls Publishing.
- Bueti, D. (2011). The sensory representation of time. *Frontiers in integrative neuroscience*, 5, 34.
- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature reviews neuroscience*, 6(10), 755-765.
- Cashmore, A. R. (2003). Cryptochromes: enabling plants and animals to determine circadian time. *Cell*, 114(5), 537-543.
- Gerstner, J. R. (2012). On the evolution of memory: a time for clocks. *Frontiers in Molecular Neuroscience*, 5, 23.
- Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in cognitive sciences*, 12(7), 273-280.
- Jazayeri, M., & Shadlen, M. N. (2015). A neural mechanism for sensing and reproducing a time interval. *Current Biology*, 25(20), 2599-2609.
- Maniadakis, M., & Trahanias, P. (2014). Time models and cognitive processes: a review. *Frontiers in neurorobotics*, 8, 7.
- Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior Research Methods*, 44(2), 314-324.
- Mauk, M. D., & Buonomano, D. V. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 307-340.
- Merchant, H., Harrington, D. L., & Meck, W. H. (2013). Neural basis of the perception and estimation of time. *Annual review of neuroscience*, 36, 313-336.
- Nakajima, Y., Ten Hoopen, G., Hilkhuisen, G., & Sasaki, T. (1992). Time-shrinking: A discontinuity in the perception of auditory temporal patterns. *Perception & psychophysics*, 51(5), 504-507.
- Paranjpe, D. A., & Sharma, V. K. (2005). Evolution of temporal order in living organisms. *Journal of Circadian Rhythms*, 3(1), 1-13.
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy-psychophysics software in Python. *Journal of neuroscience methods*, 162(1-2), 8-13.
- Wehrman, J. J., Wearden, J. H., & Sowman, P. (2018). Short-term effects on temporal judgement: Sequential drivers of interval bisection and reproduction. *Acta psychologica*, 185, 87-95.