

O responder controlado temporalmente: desdobramentos da pesquisa com a tarefa de bissecção

Marilia Pinheiro de Carvalho
Marco Vasconcelos
Armando Machado

Universidade do Minho, Portugal

Church, R. M., & Deluty, M. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3, 216-228.

“O que é, pois, o tempo? Se ninguém mo pergunta, sei o que é; mas se quero explicá-lo a quem mo pergunta, não sei.”
(Santo Agostinho, *Confissões*)

INTRODUÇÃO À ÁREA DE PESQUISA E CONTEXTUALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Em fins da década de 1970, já era sabido que as respostas de animais não-humanos podem ser controladas por intervalos de tempo. Por exemplo, as pesquisas seminais de Pavlov (1927) sobre condicionamento respondente demonstraram que, quando comida era entregue sucessivamente em intervalos fixos de tempo, a salivação de cães sistematicamente antecipava os momentos de entrega. Dá-se a esse efeito o nome de condicionamento temporal (Cattania, 1999). A Figura 1 abaixo ilustra um procedimento de condicionamento temporal e resultados hipotéticos.

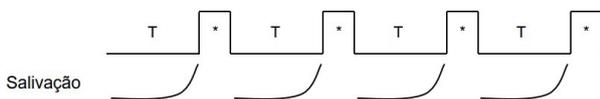


Figura 1. Diagrama hipotético de um procedimento de condicionamento respondente temporal. Comida (*) é apresentada sucessivamente em intervalos fixos de tempo (T). Tipicamente, salivação condicionada ocorre instantes antes de a comida ser apresentada.

Em um outro estudo clássico, desta vez com um procedimento de condicionamento operante, Stubbs (1968, Experimento 2) demonstrou que pombos eram capazes de discriminar estímulos com duração de

2 s a 20 s². A tarefa consistia em uma discriminação condicional na qual o estímulo modelo era uma luz que ficava acesa durante um intervalo de tempo variável, e os estímulos comparação eram um disco verde e um disco vermelho apresentados simultaneamente após o estímulo modelo. Para receber comida, os pombos deviam bicar o disco verde se o modelo durasse de 2 a 10 s, e o disco vermelho se o modelo durasse de 12 a 20 s. Como os estímulos de 2 a 10 s são os mais curtos das durações treinadas, e os estímulos de 12 a 20 s são os mais longos, podemos dizer que respostas no disco verde são respostas ‘curto’ e que respostas no disco vermelho são respostas ‘longo’.

Stubbs (1968) mediu a proporção de vezes em que os sujeitos responderam ‘longo’ (i.e., bicaram o disco vermelho) em função de cada uma das durações apresentadas. Dá-se o nome de função psicométrica à função que relaciona a proporção de uma das respostas (e.g., “longo”) à duração dos estímulos (Church, 2002; Richelle & Lejeune, 1980). Se a discriminação fosse perfeita, a função psicométrica deveria assumir a forma de um degrau (ver painel de cima da Figura 2): Nenhuma resposta ‘longo’ seria emitida após os estímulos de 2 a 10 s [$P(\text{‘longo’}) = 0$], e apenas respostas ‘longo’ seriam emitidas após os estímulos de 12 a 20 s [$P(\text{‘longo’}) = 1$].

¹ MPC e MV contaram com a bolsa de investigação UMINHO/BI/249/2015 e com a bolsa de investigador IF/01624/2013, respectivamente, ambas da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), Portugal. AM beneficiou da bolsa de licença sabática SFRH/BSAB/113653/2015 da FCT e de uma bolsa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP: 2015/06491-1) para Professor Convidado na Universidade Federal de São Carlos, Brasil. Este capítulo foi parcialmente financiado pela FCT e pelo Ministério da Educação e Ciência através de fundos nacionais, e cofinanciado pelo FEDER sob o acordo de parceria PT2020 (UID/PSI/01662/2013).

² Stubbs (1968) conduziu três experimentos com intervalos temporais variando entre 1 e 40 s. Para fins didáticos, ilustramos apenas o caso do Experimento 2, com intervalos entre 2 e 20 s.

A Figura 2 abaixo (painel de baixo) esquematiza a tendência geral dos dados individuais obtidos por Stubbs (1968). A proporção de respostas ‘longo’ aumentou de 2 a 20 s, confirmando que os pombos eram capazes de discriminar os estímulos mais curtos dos estímulos mais longos. Contudo, o aumento na proporção de respostas foi gradual, ao invés de ser abrupto e em forma de degrau: A função psicométrica tinha uma forma ogival, com mínimo e máximo nas durações extremas de 2 e 20 s, respectivamente.

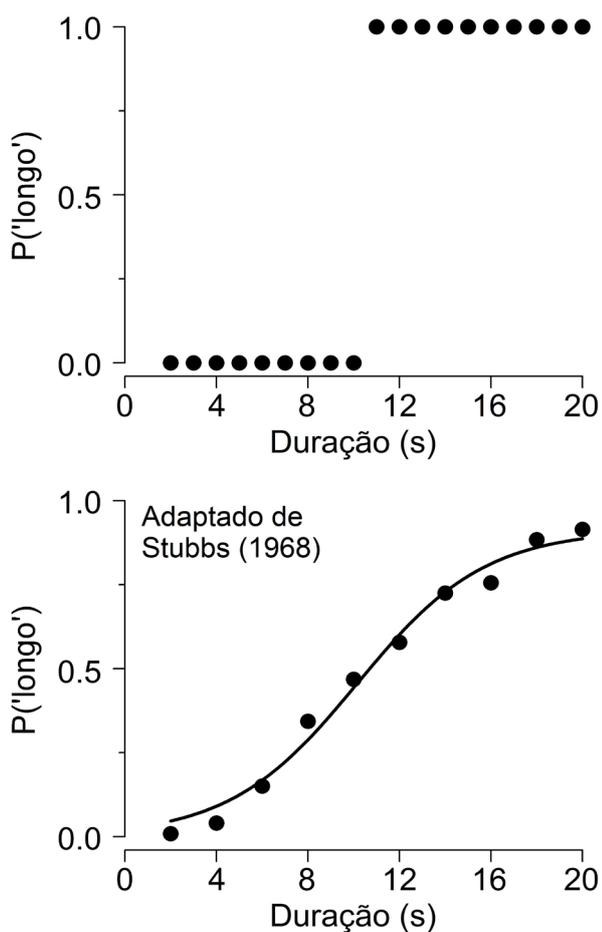


Figura 2. Painel de cima: Função psicométrica hipotética em forma de degrau. Painel de baixo: Esquematização do padrão geral das funções psicométricas obtidas em uma discriminação entre 2 e 20 s por Stubbs (1968, Experimento 2).

Curiosamente, a proporção de respostas ‘longo’ para as durações de 10 e 12 s esteve próxima de 0.5, ou seja, em cerca de metade das vezes os sujeitos respondiam ‘curto’ e na outra metade das vezes respondiam ‘longo’ para cada uma destas durações – a despeito de terem sido treinados a responder ‘curto’ para 10 s e ‘longo’ para 12 s. Com base nestes resultados, Stubbs (1968) sugeriu que os sujeitos estabeleceram um critério de decisão para responder: Respondiam ‘curto’ para durações menores do que o critério e respondiam ‘longo’ para durações maiores do que o critério. Ainda de acordo com o autor, o critério estaria entre 10 e 12 s e quanto mais próxima uma duração estivesse dele, maior a incerteza em classificá-la como ‘curta’ ou ‘longa’ – a incerteza traduz-se em proporções de respostas ‘longo’ próximas de 0.5, como Stubbs observou nos pombos.

O critério que divide as durações mais curtas das mais longas também pode ser tomado como a duração que, do ponto de vista do sujeito, está equidistante das durações treinadas. A esta duração, percebida como “o meio do caminho”, por assim dizer, dá-se o nome de ponto de igualdade subjetiva (PIS). A pergunta que naturalmente se coloca é qual duração corresponde ao PIS. A pergunta é relevante porque o valor do PIS dá pistas sobre a métrica usada pelos animais para “medir” as durações dos estímulos. Falar da métrica é falar da relação entre o tempo objetivo (medido pelo relógio) e o tempo subjetivo (inferido a partir do

comportamento). Será a métrica do tempo subjetivo linear, logarítmica, recíproca, ou de outro tipo? A Figura 3 abaixo ilustra as três primeiras métricas.

Tome o caso de uma discriminação entre 1 s e 4 s. Em uma transformação linear, $y = ax + b$ (painel da esquerda na Figura 3; no nosso exemplo, assumimos que $a = 1$ e $b = 1$), 1 s (x_1) é representado subjetivamente como 2 (y_1) e 4 s (x_2) é representado como 5 (y_2). O PIS é a duração x equivalente ao valor médio de 2 e 5 da representação subjetiva (ver a seta que projeta no eixo do x o valor médio da representação subjetiva). A derivação na Figura 3 (painel da esquerda) mostra que, se o sujeito usa uma métrica linear, o PIS é a média aritmética (MA) de 1 e 4 s.

Em uma transformação logarítmica, $y = \ln(x)$ (painel central na Figura 3; logaritmo na base e), 1 s (x_1) é representado como zero (y_1) e 4 s (x_2) como 1.39 (y_2). A derivação (painel central) mostra que se o sujeito usa uma métrica logarítmica, o PIS é a média geométrica (MG) de 1 e 4 s.

Por fim, em uma transformação recíproca, $y = 1/x$ (painel da direita na Figura 3), 1 s (x_1) é representado como 1 (y_1) e 4 s (x_2) é representado como 0.25 (y_2). A derivação (painel da direita) mostra que, se o sujeito usa uma métrica recíproca, o PIS é a média harmônica (MH) de 1 e 4 s.

Generalizando, se ao estimar a duração de n estímulos, t_1, t_2, \dots, t_n , os sujeitos usam uma métrica linear, o PIS é

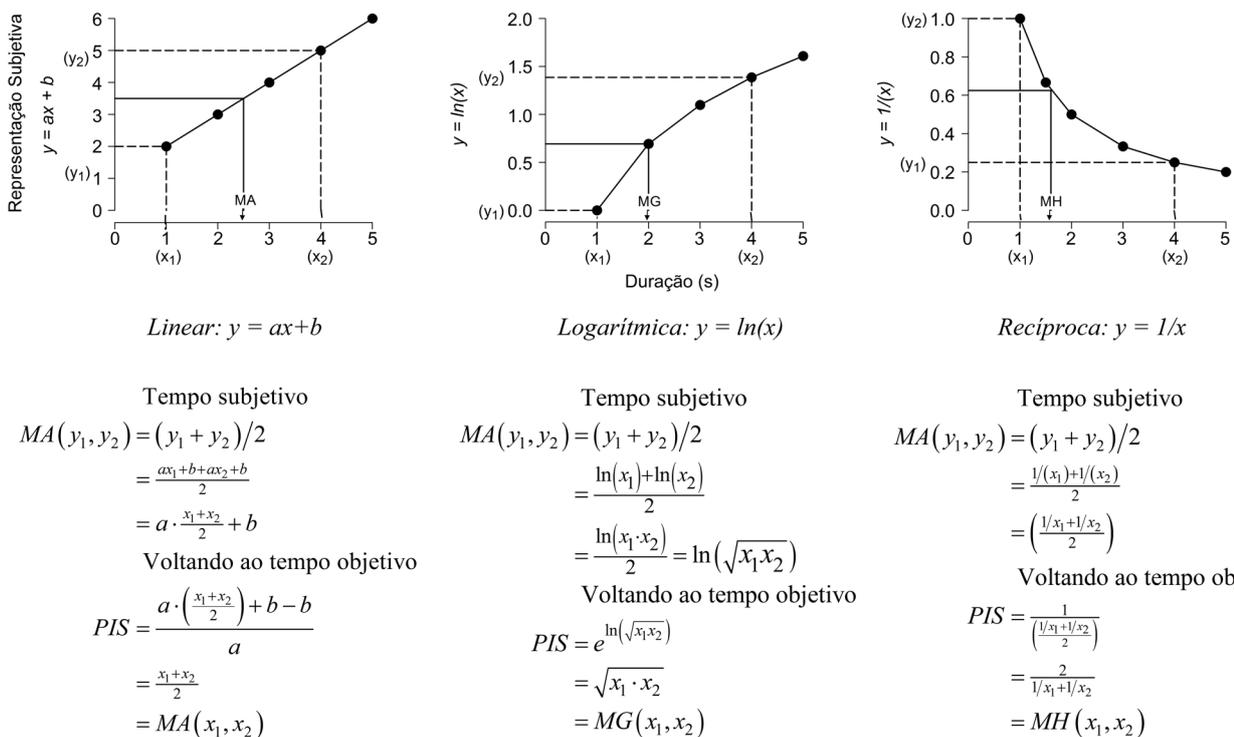


Figura 3. Painel da esquerda: Transformação linear da duração x . Painel central: Transformação logarítmica da duração x . Painel da direita: Transformação recíproca da duração x .

igual à média aritmética dos estímulos

$$\left(MA = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \right);$$
 se usam uma métrica

logarítmica, o PIS é igual à média geométrica dos estímulos $\left(MG = \sqrt[n]{t_1 \times t_2 \times \dots \times t_n} \right);$

e se usam uma métrica recíproca, o PIS é igual à média harmônica dos estímulos

$$\left(MH = \frac{n}{\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \dots + \frac{1}{t_n}} \right)$$

Church e Deluty (1977) determinaram empiricamente o PIS em um dos estudos mais influentes na área do controle temporal do responder (timing). Eles usaram uma tarefa psicofísica clássica, a tarefa de bissecção, para medir o valor do PIS em diversas discriminações temporais. Os resultados revelaram algumas das propriedades centrais do responder controlado temporalmente em animais não-humanos e essas propriedades definiram aquilo que qualquer modelo teórico de timing deve explicar. Para além disso, o estudo de Church e Deluty identificou pela primeira vez questões importantes sobre a natureza do controle por estímulos temporais e sobre a natureza do que é aprendido em tarefas temporais, sugeriu procedimentos para analisá-las empiricamente, e avançou com respostas provisórias a essas questões. Todas elas permanecem em aberto.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Objetivo e método

A tarefa de bissecção temporal é uma tarefa de discriminação condicional. Para ilustrar, considere uma tentativa de treino típica no estudo de Church e Deluty (1977) com ratos. Durante o intervalo entre tentativas (ITI, do inglês inter-trial interval), uma luz de iluminação geral ficava acesa por 30 segundos. Terminado o ITI, a luz geral apagava-se por 2 ou 8 s – o período na escuridão sinalizava o intervalo de tempo a estimar e era o estímulo modelo da tentativa. Ao fim do intervalo, duas barras de resposta eram introduzidas na caixa, uma na esquerda e outra na direita do painel de respostas. Os ratos deviam pressionar uma das duas barras condicionalmente à duração do intervalo. Respostas corretas (e.g., pressionar a barra da esquerda após 2 s e a barra da direita após 8 s) eram reforçadas com acesso a comida e respostas incorretas não produziam consequências (extinção). Para facilitar a descrição, a partir de agora vamos simplesmente dizer que os ratos aprenderam a responder ‘curto’ após a duração mais curta, e ‘longo’ após a duração mais longa – independentemente de formalmente as respostas serem pressionar a barra da esquerda ou da direita.

Quatro grupos de ratos (N = 8) foram treinados em diversas discriminações ao longo de seis fases experimentais. Para os nossos propósitos, é suficiente considerar apenas as quatro primeiras fases. Na Fase

I, todos os grupos aprenderam a discriminação entre 2 e 8 s. Na Fase II, os grupos A e B aprenderam a discriminação entre 1 e 4 s, e os grupos C e D a discriminação entre 4 e 16 segundos. Na Fase III, os grupos A e B aprenderam a discriminação entre 4 e 16 s, e os grupos C e D a discriminação entre 1 e 4 s. Na Fase IV, todos grupos aprenderam a discriminação entre 3 e 12 s. A Tabela 1 resume as discriminações aprendidas por cada

rações de treino (e.g., no caso da discriminação entre 2 e 8 s, MH = 3.2 s, MG = 4 s e MA = 5 s). Também nas tentativas de teste, os sujeitos deviam responder ‘curto’ ou ‘longo’ condicionalmente à duração apresentada na tentativa, mas nenhuma resposta era reforçada. Concluído o treino discriminativo e o teste de generalização de uma fase experimental, iniciava-se a fase seguinte.

Fase	Grupo A (n = 2)	Grupo B (n = 2)	Grupo C (n = 2)	Grupo D (n = 2)
I	2 s – 8 s	2 s – 8 s	2 s – 8 s	2 s – 8 s
II	1 s – 4 s	1 s – 4 s	4 s – 16 s	4 s – 16 s
III	4 s – 16 s	16 s – 4 s	1 s – 4 s	4 s – 1 s
IV	3 s – 12 s	12 s – 3 s	3 s – 12 s	12 s – 3 s

Tabela 1. Discriminações temporais aprendidas por cada grupo de ratos nas quatro primeiras fases do estudo de Church e Deluty (1977). Em cada célula, a posição da duração de treino representa a resposta correta. Por exemplo, ‘1 s – 4 s’ significa que, para receber comida, os sujeitos deviam responder ‘esquerda’ após 1 s, e ‘direita’ após 4 s. Adaptado de Church e Deluty (1977).

grupo em cada fase. Doravante, chamaremos as durações treinadas em cada discriminação de ‘durações de treino’.

Cada fase começava com o treino discriminativo e terminava com um teste de generalização. O treino discriminativo incluía apenas tentativas com as durações de treino, como as descritas acima. O teste de generalização incluía, para além das tentativas de treino, tentativas de teste em que eram apresentadas cinco durações intermediárias³ às durações de treino – três destas durações correspondiam às médias harmônica, geométrica e aritmética das du-

Com os dados do teste de generalização, Church e Deluty (1977) obtiveram a função psicométrica e o PIS de cada discriminação treinada. Como o PIS é a duração que separa os modelos ‘curtos’ dos modelos ‘longos’, ele também pode ser visto como a duração em que o sujeito divide ao meio, ou bissecta, o intervalo entre as durações de treino (e.g., o intervalo entre 2 e 8 s). Daí o nome do procedimento, bissecção temporal.

Resultados e discussão

A Figura 4 (painel da esquerda) apresenta as funções psicométricas médias (n=8) obtidas por Church e Deluty (1977) em

³ As durações de teste estavam aproximadamente em progressão geométrica, ou seja, cada duração depois da primeira era obtida multiplicando a anterior por uma constante.

cada uma das quatro discriminações. Todas as funções psicométricas tinham valores mínimo e máximo próximos das durações de treino de cada discriminação e formato ogival, evidenciando que os pombos eram capazes de discriminar as diferentes durações.

O painel central da Figura 4 apresenta as mesmas funções psicométricas, mas, agora, o eixo do x está com as durações em unidades logarítmicas. No eixo do x, os valores 1 e 7 correspondem às durações de treino curta e longa, respectivamente. Os valores 3, 4 e 5 correspondem às médias harmônica, geométrica e aritmética das durações de treino de cada discriminação, respectivamente.

A partir das funções psicométricas, os autores calcularam o PIS de cada discriminação ajustando uma reta aos pontos correspondentes às três durações centrais [pontos com coordenadas (3, y), (4, y) e (5, y)]. Eles escolheram estes pontos porque se concentravam próximos ao ponto com coordenadas (x, 0.50), o PIS. Conhecidos

os parâmetros da reta (inclinação e interseção-y), calculou-se o PIS. O painel central na Figura 4 apresenta os PISs obtidos em função da média geométrica das durações treinadas em cada discriminação – para a discriminação entre 1 e 4 s, MG = 2 s; para 2 e 8 s, MG = 4 s; para 3 e 12 s, MG = 6 s; para 4 e 16 s, MG = 8 s. A figura também mostra quais seriam os PISs esperados no caso de eles estarem nas médias⁴ harmônica e aritmética das durações de treino (ver as linhas tracejadas na figura). Os resultados mostraram que os PISs praticamente se sobrepueram às médias geométricas, revelando que, do ponto de vista dos ratos, a duração que bissecta o intervalo entre as durações de treino é a média geométrica das mesmas.

Também à partir das retas ajustadas às funções psicométricas, os autores calcularam o limiar diferencial de cada discriminação. O limiar diferencial, também denominado de diferença mínima perceptível (just noticeable difference ou JND), indica quanto um estímulo de comparação deve diferir de um estímulo padrão em uma dada dimensão física para ser percebido como

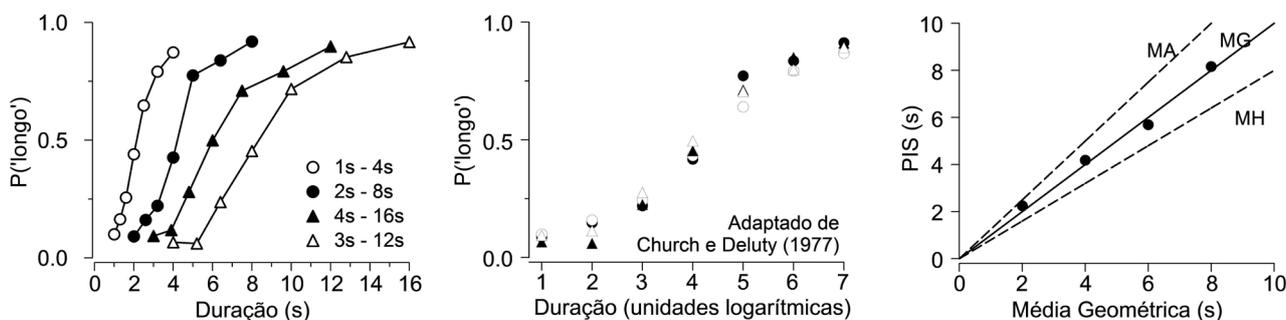


Figura 4. Painel da esquerda: Funções psicométricas médias obtidas por Church e Deluty (1977). Painel central: Funções psicométricas obtidas por Church e Deluty (1977) graficadas em uma escala comum em unidades logarítmicas. Painel da direita: PISs médios em função da média geométrica das durações treinadas em cada discriminação. A linha contínua (MG) indica a média geométrica das durações treinadas. As linhas tracejadas (MH e MA) indicam as médias harmônica e aritmética, respectivamente.

diferente. Se o JND é pequeno, uma pequena diferença entre os estímulos é suficiente para discriminá-los, se é grande, os estímulos devem diferir bastante para serem discriminados. Para obter o JND de cada rato, os autores identificaram em cada reta as durações correspondentes aos pontos com coordenadas $(x_1, 0.75)$ e $(x_2, 0.25)$ e depois calcularam $JND = (x_1 - x_2)/2$.

Esperamos naturalmente que o JND seja maior nas discriminações com as durações mais longas. Por exemplo, esperaríamos que ele fosse maior na discriminação entre 4 e 16 s do que na discriminação entre 1 e 4 s. É fácil percebermos que, por ser uma medida absoluta da discriminabilidade dos estímulos, o JND é afetado pela ordem de grandeza dos estímulos em questão. Conclusões gerais sobre a discriminabilidade dos estímulos, portanto, deveriam basear-se em uma medida relativa.

A Fração de Weber, obtida dividindo o JND pelo valor do estímulo padrão, t ($FW = JND/t$), é frequentemente usada como um índice relativo da discriminabilidade. Para calcular a Fração de Weber em cada discriminação, Church e Deluty (1977) assumiram que o PIS era o estímulo padrão, ou seja, o critério em relação ao qual os sujeitos categorizavam as durações como curtas ou longas. Como em todas as discriminações

o PIS estava muito próximo da média geométrica das durações de treino, os autores assumiram que $t = MG$ em cada discriminação.

As Frações de Weber obtidas eram relativamente constantes ($M = 0.23$) e não diferiram estaticamente entre si. Estes resultados revelaram que, para qualquer ordem de grandeza dos estímulos temporais, um estímulo deve diferir em cerca de 23%⁵ do estímulo padrão para ser discriminável. Em outras palavras, a discriminabilidade entre duas durações depende de sua diferença relativa e não da sua diferença absoluta. Church e Deluty (1977) verificaram que, à semelhança de muitas outras dimensões do estímulo, a discriminação da duração também segue a Lei de Weber.

Se a Fração de Weber é constante, é de se esperar que os sujeitos respondam de maneira semelhante para durações distintas que representem a mesma proporção de tempo transcorrido (ou que estejam na mesma razão). Para ilustrar, voltemos ao caso das discriminações 1 s vs. 4 s e 4 s vs. 16 s. Na primeira, os sujeitos aprenderam a responder 'longo' após 4 s e a $MG = 2$ s. Na segunda, aprenderam a responder 'longo' após 16 s e a $MG = 8$ s. Em ambos os casos, a proporção entre a duração de treino mais longa (4 ou 16 s) e a correspondente média

⁴ A média harmônica é sempre inferior ou igual à média geométrica que, por sua vez, é sempre inferior ou igual à média aritmética, ou seja, $MH \leq MG \leq MA$. A igualdade ocorre quando os números são todos iguais.

⁵ Na literatura em tarefas temporais com animais não-humanos, há evidência da Fração de Weber variando entre 0.20 e 0.30 (Richelle & Lejeune, 1980).

geométrica é de 2. Assim, como a Fração de Weber é constante, a proporção de respostas ‘longo’ emitidas para cada uma dessas duas durações longas deveria ser igual: $P(\text{‘longo’})$ aos 4 s na discriminação 1 s vs. 4 s deveria ser igual a $P(\text{‘longo’})$ aos 16 s na discriminação 4 s vs. 16 s. O mesmo aconteceria para as outras durações usadas nos testes.

Church e Deluty (1977) confirmaram este resultado: As proporções de respostas ‘longo’ eram iguais para durações que representavam a mesma proporção em relação à média geométrica e, portanto, as funções psicométricas das quatro discriminações sobrepuseram-se (conferir o painel central na Figura 4).

A sobreposição das funções psicométricas ilustra uma das propriedades mais robustas da discriminação temporal em animais, a propriedade escalar: Tarefas de bissecção com durações de treino na mesma proporção (1:4 em todas as tarefas em análise no estudo) induzem funções psicométricas que se sobrepõem quando graficadas na mesma escala. Church e Deluty (1977) verificaram que a discriminação temporal dos estímulos obedece à propriedade escalar.

DESDOBRAMENTOS

Responder relacional vs. responder absoluto. Retomemos o nosso exemplo com o treino discriminativo entre 1 e 4 s.

Para facilitar a descrição, dissemos até aqui que os sujeitos aprendem a responder ‘curto’ para 1 segundo e ‘longo’ para 4 s, quando, em verdade, eles aprendem, por exemplo, a pressionar a barra da esquerda após 1 s e a barra da direita após 4 s. Existe uma diferença fundamental entre afirmar que os sujeitos respondem que uma duração é curta e a outra é longa, e afirmar que respondem ‘esquerda’ e ‘direita’ em função das durações. A primeira afirmação implica que os sujeitos respondem com base no valor relativo das durações – isto é, aprendem que 1 s é curto relativamente a 4 s, que 4 s é longo relativamente a 1 s e, adicionalmente, quais respostas emitir para os estímulos curto e longo; a segunda afirmação implica que os sujeitos respondem com base no valor absoluto das durações – isto é, aprendem quais respostas emitir após 1 e 4 s.

O responder com base no valor relativo dos estímulos, ou o responder relacional, influenciou fortemente o programa de trabalhos da escola da Gestalt em princípios do século XX e é um dos tópicos de pesquisa mais antigos da psicologia experimental. Há evidência de responder relacional controlado pelo brilho (Kohler, 1918/1938), pelo tamanho (Gulliksen, 1932) e pela forma (Saldanha & Bitterman, 1951) dos estímulos, embora interpretações alternativas sejam possíveis (e.g., Spence, 1936, 1937). Mas será que animais não-humanos respondem relacionalmente em discriminações temporais?

O estudo de Church e Deluty (1977)

iniciou a linha de pesquisa neste tópico e, assim, levantou outra questão fundamental no estudo do timing, designadamente, o quê um animal aprende na tarefa de bissecção. Vejamos como os autores atacaram o problema. Volte à Tabela 1 e considere as tarefas realizadas pelos grupos A e B nas Fases II e III. Na Fase II, ambos os grupos aprenderam a responder ‘esquerda’ após 1 s e ‘direita’ após 4 s. Se, por um lado, os sujeitos aprenderam a responder ao valor relativo das durações, a contingência pode ser resumida com o esquema ‘curto→esquerda, longo→direita’. Se, por outro lado, aprenderam a responder ao valor absoluto das durações, a contingência pode ser resumida como ‘1s→esquerda, 4s→direita’.

A Fase III foi planejada para testar as duas possibilidades. Ambos os grupos

aprenderam a discriminação entre 4 e 16 s, mas o mapeamento entre a resposta correta e a duração do estímulo diferiu entre grupos. Um grupo aprendeu a responder ‘esquerda’ após 4 s e ‘direita’ após 16 s. Observe que se manteve o mapeamento relativo ‘curto→esquerda, longo→direita’ para este grupo e, por isso, vamos chamá-lo de grupo Relativo. O outro grupo, em contrapartida, aprendeu a responder ‘direita’ após 4 s e ‘esquerda’ após 16 s. Neste caso, manteve-se o mapeamento absoluto ‘4s→direita’ e, por isso, chamamo-lo de grupo Absoluto.

Church e Deluty (1977) raciocinaram que, se o responder na discriminação temporal é baseado no valor relativo das durações, o grupo Relativo deveria aprender a Fase III mais rapidamente do que o grupo Absoluto. Se, pelo contrário, o responder é

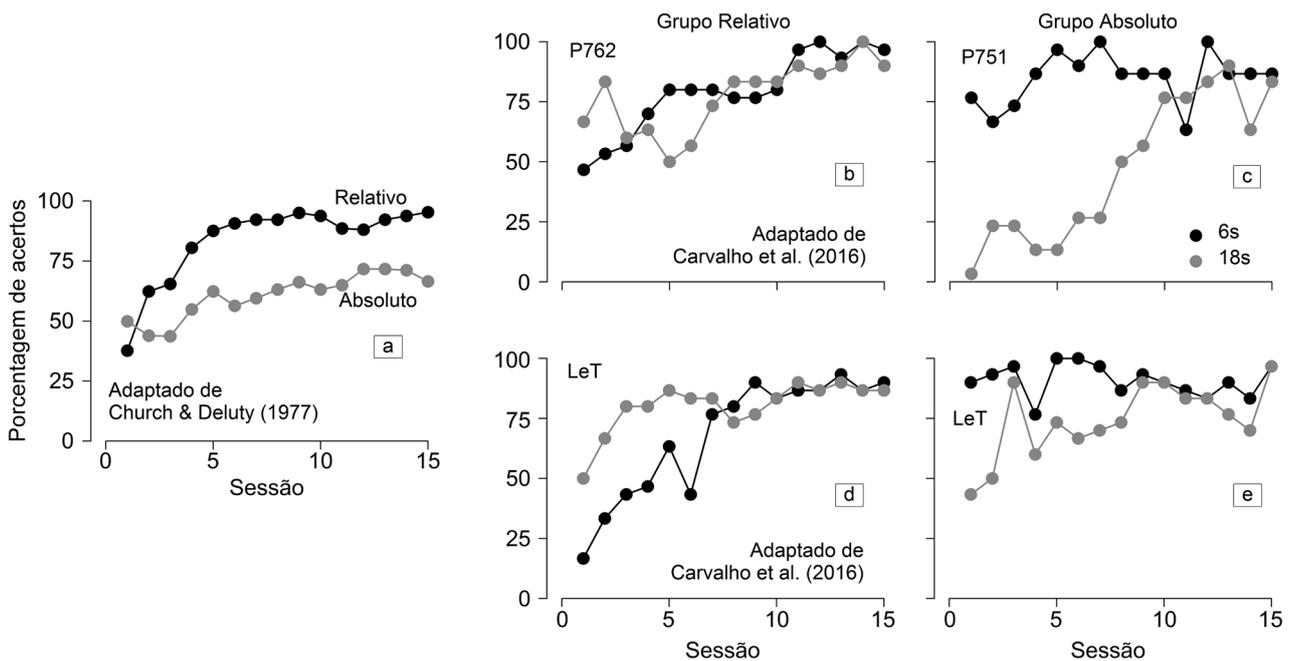


Figura 5. Painel da esquerda. Proporção de acertos para a duração de 4 s obtida nos grupos Relativo e Absoluto por Church e Deluty (1977). Painel central. Porcentagem de acertos de um sujeito do grupo Relativo para as durações de 6 e 18 s na fase B do experimento de Carvalho et al. (2016). Painel da direita. Porcentagem de acerto de um sujeito do grupo Absoluto para as durações de 6 e 18 s na fase B do experimento de Carvalho et al. (2016).

baseado no valor absoluto, o grupo Absoluto deveria aprender mais rapidamente do que o grupo Relativo. Os autores compararam a porcentagem de respostas corretas dos grupos ao longo das sessões de treino da Fase III, mas analisaram apenas o desempenho para a duração de 4 s. Os resultados na Figura 5 (painel a) revelaram que o grupo Relativo respondia corretamente em mais de 90% das tentativas ao fim de quinze sessões de treino, mas o grupo Absoluto respondia corretamente em menos de 70% das tentativas. Além disso, já na primeira sessão de treino, o desempenho do grupo Relativo era mais alto do que o do grupo Absoluto. Com base nestes resultados, os autores concluíram que os sujeitos aprendem a responder ao valor relativo das durações em tarefas de discriminação temporal.

Em nosso laboratório, replicamos com pombos o experimento de Church e Deluty (1977). Ensinamos aos animais as discriminações entre 2 s vs. 6 s e 6 s. vs. 18 segundos e usamos um disco verde e outro vermelho como estímulos de comparação. Nossos resultados (painéis b e c na Figura 5; Carvalho & Machado, 2012; Carvalho, Machado, & Tonneau, 2016), contudo, não corroboraram aqueles obtidos por Church e Deluty com ratos. Ao invés, eles mostraram que (a) na primeira sessão de treino, o desempenho do grupo Absoluto era mais alto do que o do grupo Relativo na duração de 6 s (a duração comum ao treino das duas fases e que em nosso procedimento equivalia à duração de 4 s no estudo de Church

e Deluty) e (b) ambos os grupos tinham um desempenho similar e elevado no final do treino.

Para melhor fundamentar a comparação dos grupos, nós simulamos o desempenho na tarefa com o modelo Learning to Time (LeT; Machado, 1997; Machado, Malheiro, & Erlhagen, 2009) e, posteriormente, construímos as simulações com os dados empíricos. O LeT é um modelo comportamental que descreve a aquisição e o estado estável de respostas controladas temporalmente com base em processos de reforçamento, extinção e generalização.

De acordo com o LeT, o início do estímulo modelo ativa uma série de estados comportamentais que estão ligados às duas respostas operantes. A velocidade de ativação dos estados (λ) varia de tentativa para tentativa e provém de uma distribuição normal, $\lambda \sim N$ (média = μ , desvio padrão = σ). Quando o sujeito emite uma resposta ao fim do estímulo modelo, a força do elo associativo entre a resposta emitida e o estado ativo no momento da resposta é alterada dependendo da consequência da resposta: Se foi reforçada, a força aumenta; se foi extinta, a força diminui. A Figura 6 esquematiza o modelo.

Vejamos o caso da discriminação '2s→verde, 8s→vermelho'. Em uma tentativa com um estímulo modelo de 2 s e $\lambda = 1$, o estado $n = 2$ está ativo no momento em que o sujeito emite uma resposta, 'ver-

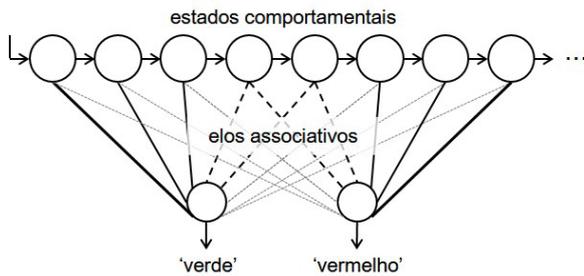


Figura 6. Diagrama dos componentes do modelo Learning to Time (LeT) – estados comportamentais, elos associativos e respostas operantes – aplicado à uma tarefa de bissecção temporal. A cor e o tracejado dos elos indicam a força de ligação entre os estados e as respostas: Linhas pretas contínuas indicam força “elevada”, linhas pretas tracejadas indicam força “intermediária” e linhas cinzas pontilhadas indicam força “baixa”. Portanto, o estado $n = 2$ está fortemente ligado a ‘verde’ e fracamente ligado a ‘vermelho’, e o estado $n = 8$ está fracamente ligado a ‘verde’ e fortemente ligado a ‘vermelho’, por exemplo.

de’ por exemplo. A resposta é reforçada e, portanto, a força do elo entre o estado $n=2$ e ‘verde’ aumenta e a força do elo entre o estado $n=2$ e ‘vermelho’ diminui. Se o sujeito responder ‘vermelho’, a resposta é extinta, o elo de $n=2$ e ‘vermelho’ diminui e o elo de $n=2$ e ‘verde’ aumenta. Veja na Figura 6 o elo “forte” (linha preta) de $n=2$ com ‘verde’ e o elo “fraco” (linha cinza pontilhada) de $n=2$ com ‘vermelho’.

Em uma tentativa com um estímulo modelo de 8 s e $\lambda = 1$, o estado $n = 8$ está ativo no momento em que o sujeito emite a resposta ‘vermelho’. A resposta é reforçada, a força do elo entre o estado $n = 8$ e ‘vermelho’ aumenta e a força do elo entre o estado $n = 8$ e ‘verde’ diminui. Raciocínio semelhante ao já descrito acima aplica-se ao efeito da extinção da resposta ‘verde’ emitida após 8 s.

O parâmetro λ é uma variável aleatória, e, portanto, o estado ativo ao fim de um dado estímulo modelo varia de tentativa para tentativa. Contudo, a ativação dos

estados correlaciona-se com a passagem do tempo e, assim, estados iniciais (e.g., $n = 1, 2, 3$) estarão mais provavelmente ativos durante as respostas ao estímulo de 2 s, e estados subsequentes (e.g., $n = 6, 7, 8$) estarão mais provavelmente ativos durante as respostas ao estímulo de 8 s. Com o treino, as forças de ligação de todos os estados ativos durante as respostas são alteradas, de modo que os estados iniciais estarão mais fortemente ligados a ‘verde’ e os estados posteriores estarão mais fortemente ligados a ‘vermelho’. O resultado são dois gradientes de forças de ligação, um para a resposta ‘verde’ e outro para a resposta ‘vermelho’ (observe a gradação da espessura dos elos associativos na Figura 6). Em cada tentativa, o sujeito emitirá a resposta que tiver o elo mais forte com o estado ativo ao fim do estímulo modelo.

Como você deve ter observado, o LeT assume que as respostas do sujeito são controladas pela duração absoluta do estímulo modelo (i.e., 2 s ou 8 s) e não pela sua duração relativa (i.e., ‘curto’ ou ‘longo’). Ao comparar as simulações do LeT com o desempenho dos pombos, pudemos avaliar qual é a forma de controle de estímulos predominante na tarefa de bissecção temporal. As simulações foram genericamente semelhantes ao desempenho dos pombos tanto qualitativa, quanto quantitativamente (compare os painéis d e e com os painéis b e c, respectivamente, na Figura 5). Os resultados dos estudos conduzidos por Carvalho e colaboradores (2012, 2016), portanto,

sugerem de maneira bastante robusta que o responder na tarefa de bissecção temporal é baseado no valor absoluto das durações. Permanece por identificar sob quais condições os animais aprendem a responder com base na duração relativa dos estímulos temporais.

Efeitos contextuais na tarefa de bissecção.

Para além dos estudos empíricos, os pesquisadores do timing também têm conduzido pesquisas teóricas. Em particular, eles têm proposto vários modelos matemáticos para explicar o desempenho em tarefas temporais. Dois dos modelos mais influentes são o LeT, já apresentado, e o Scalar Expectancy Theory (SET; Gibbon, 1977, 1991; Gibbon & Church, 1984; Gibbon, Church, & Meck, 1984).

Os dois modelos diferem nos seus pressupostos sobre o que é aprendido na tarefa de bissecção temporal. Para compreendermos estas diferenças, tomemos uma tarefa em que os sujeitos devem responder ‘vermelho’ após 1 s e ‘verde’ após 4 s. De acordo com o SET, os sujeitos aprendem apenas as contingências ‘1s→escolher vermelho’ e ‘4s→escolher verde’. O LeT, pelo contrário, assume que os sujeitos aprendem ‘1s→escolher vermelho e evitar verde’ e ‘4s→escolher verde e evitar vermelho’.

Para testar os pressupostos dos modelos, Machado e Keen (1999) desenvolve-

ram a tarefa de dupla bissecção temporal. Como o nome da tarefa sugere, os sujeitos são treinados em duas bissecções temporais. A primeira é semelhante à que acabamos de descrever entre 1 e 4 s. Na segunda, aprendem a responder ‘azul’ após 4 s e ‘amarelo’ após 16 s. Para o SET, os sujeitos aprendem ‘4s→escolher azul’ e ‘16s→escolher amarelo’. Para o LeT, eles aprendem ‘4s→escolher azul e evitar amarelo’ e ‘16s→escolher amarelo e evitar azul’. Aprendidas as duas discriminações, é conduzido um teste com durações que variam entre 1 e 16 s e no qual as opções de resposta são ‘verde’ e ‘azul’.

Os modelos diferem nas previsões que fazem do desempenho no teste. De acordo com o SET, os sujeitos deveriam distribuir aleatoriamente suas respostas entre ‘verde’ e ‘azul’ durante o teste, porque no treino prévio eles apenas aprenderam ‘1s→escolher vermelho, 4s→escolher verde, 4s→escolher azul, 16s→escolher amarelo’ e, portanto, não deveriam apresentar vieses em favor de uma ou outra resposta em função das diferentes durações. Como consequência, a proporção de respostas ‘verde’ não deveria variar com as durações de teste.

De acordo com o LeT, os sujeitos deveriam preferir ‘verde’ conforme as durações de teste aumentassem porque no treino prévio os sujeitos aprenderam (a) a evitar ‘azul’ após as durações mais longas (próximas de 16 s) e (b) a evitar ‘verde’ após as durações mais curtas (próximas de

1 s). No teste, dada a escolha entre ‘verde’ e ‘azul’, a proporção de respostas ‘verde’ deveria aumentar com o aumento na duração dos estímulos.

Diversos estudos usaram a tarefa de dupla bissecção temporal (Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Oliveira, 2009; Machado & Pata, 2005; Oliveira & Machado, 2008, 2009; Vieira de Castro & Machado, 2012; Vieira de Castro, Machado, & Tomanari, 2013) e sistematicamente confirmaram as previsões do LeT. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos por Machado e Pata (2005) com pombos. Dá-se o nome de efeito de contexto a este padrão de resultados, porque as respostas no teste são determinadas pelo contexto original em que os sujeitos aprenderam a escolher ou evitar

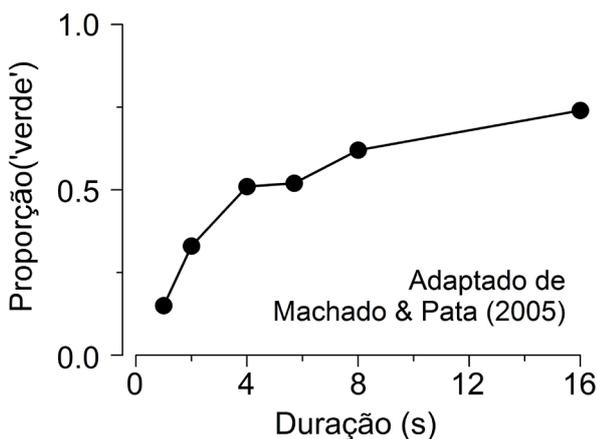


Figura 7. Efeito de contexto obtido por Machado e Pata (2005) com pombos em uma tarefa de dupla bissecção temporal.

uma resposta em função das durações.

Efeitos da probabilidade do reforço na função psicométrica. Até agora, apenas

consideramos um treino discriminativo em que as probabilidades de reforço das respostas corretas para cada duração de treino eram iguais. Church e Deluty (1977) usaram um esquema de Razão Fixa (FR) 1 para as respostas ‘curto’ e ‘longo’. Sob este esquema, verificamos que o PIS está usualmente na média geométrica das durações de treino. A linha contínua na Figura 8 ilustra uma função psicométrica hipotética para um treino discriminativo entre 1 e 4 s no qual as respostas ‘curto’ e ‘longo’ tinham igual probabilidade de reforço. Observe que o PIS da função é igual a 2 s.

Agora, o que aconteceria com o PIS, em particular, e com a função psicométrica, de um modo geral, se conduzíssemos um treino discriminativo em que uma resposta tem maior probabilidade de reforço do que a outra? Por exemplo, o que aconteceria se a probabilidade de reforço da resposta ‘longo’ fosse de 1.0 e a probabilidade de reforço da resposta ‘curto’ fosse de 0.2? De maneira semelhante, o que aconteceria se a magnitude do reforço fosse maior para a resposta ‘longo’ do que para a resposta ‘curto’? Em ambos os casos, esperaríamos que a proporção de respostas ‘longo’ aumentasse, resultando em uma função psicométrica que está deslocada para a esquerda da função que consideramos anteriormente, e cujo PIS está abaixo de 2 s. A linha pontilhada na Figura 8 ilustra o efeito.

De maneira similar, quando a probabilidade de reforço da resposta ‘longo’ fosse

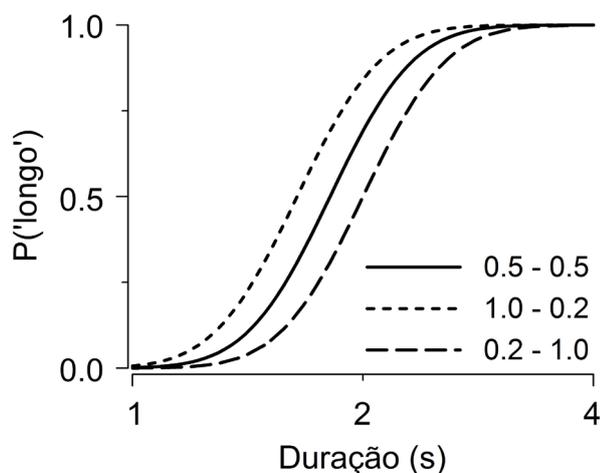


Figura 8. Funções psicométricas hipotéticas para diferentes probabilidades de reforço na discriminação entre 1 e 4 s. Em cada linha da legenda, o valor à esquerda representa a probabilidade de reforço da resposta 'curto' e o valor à direita representa a probabilidade de reforço da resposta 'longo'.

menor do que a probabilidade de reforço da resposta 'curto', a proporção de respostas 'longo' diminuiria, a função psicométrica deslocar-se-ia para a direita e o PIS seria superior a 2 s. A linha tracejada na Figura 8 ilustra o efeito.

Até o momento, contudo, os resultados experimentais são escassos e inconsistentes. Stubbs (1976), por exemplo, reportou deslocamentos consistentes com as previsões em uma tarefa em que a probabilidade relativa de reforço diferia entre as respostas 'curto' e 'longo' (ver também Raslear, 1985). Outros estudos que manipularam a magnitude do reforço, no entanto, revelaram tanto resultados consistentes quanto resultados inconsistentes com as previsões (e.g., Galtress & Kirkpatrick, 2010).

Caso ocorram de fato, os deslocamentos da função psicométrica indicariam que a distribuição das respostas entre as duas opções ('curto' e 'longo') é sensível às

discrepâncias nas probabilidades e nas magnitudes de reforço. Tais resultados seriam consistentes com a Lei da Igualação (Herrnstein, 1970) e aproximariam o responder em discriminações temporais do responder observado em outros procedimentos que envolvem escolha. Mais pesquisa sobre o tópico é claramente necessária.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de Church e Deluty (1977) é hoje considerado um clássico da pesquisa em timing. Por um lado, foi pioneiro na implementação de uma tarefa de bissecção temporal recorrendo a um procedimento psicofísico clássico (i.e., o método de estímulos constantes). Anteriormente, Stubbs (1968, 1976) tinha utilizado um procedimento similar, mas, ao invés de reforçar apenas as repostas para as durações mais curta e mais longa, reforçava também as repostas para as durações intermediárias. Church e Deluty, por sua vez, foram os primeiros a reportar funções psicométricas e PISs obtidos em testes de generalização e sem reforçamento das repostas para as durações intermediárias. Por outro lado, e porventura mais importante, o estudo de Church e Deluty deu lugar a uma série de questões consideradas ainda hoje centrais para a nossa compreensão da percepção temporal tanto em humanos como em animais não humanos.

Como discutido anteriormente, o PIS

na média geométrica sugere uma escala logarítmica para o tempo subjetivo, combinada com uma regra de decisão baseada na diferença entre tempos subjetivos. Contudo, logo após o estudo de Church e Deluty (1977), outros autores mostraram como o PIS na média geométrica pode ser obtido a partir de uma escala linear e de uma regra de decisão baseada na razão entre os tempos subjetivos (ver Gibbon, 1991). As questões sobre a métrica da escala subjetiva do tempo – logarítmica versus linear – e sobre a regra de decisão permanecem em aberto (e.g., Jozefowicz, Machado, & Staddon, 2013). Da mesma forma, há evidência de responder relacional em algumas circunstâncias (e.g., Zentall, Weaver, & Clement, 2004), muito embora nosso laboratório tenha encontrado evidências sólidas de responder absoluto, pelo menos em pombos. Ainda, a tarefa de bissecção abriu a porta para procedimentos mais complexos como a dupla bissecção. Esta última tem sido usada para estudar efeitos de contexto na percepção temporal, testando previsões contrastantes de dois modelos proeminentes da área, o SET e o LeT. Por fim, ainda não são claros os efeitos da manipulação da probabilidade e da magnitude do reforço na função psicométrica. Os resultados obtidos por alguns autores apontam para deslocamentos da função induzidos por estas manipulações (Galtress & Kirkpatrick, 2010; Raslear, 1985; Stubbs, 1976), mas o assunto permanece por esclarecer cabalmente.

A melhor prova do sucesso e impor-

tância do trabalho de Church e Deluty (1977) são as linhas de pesquisa que abriu. Trinta e nove anos após a sua publicação, as sugestões nele contidas permanecem atuais e alvo de forte disputa e investigação.

PARA SABER MAIS

Carvalho & Machado (2012); Carvalho, Machado, & Tonneau (2016). Em ambos os artigos, os autores reproduziram o estudo original de Church e Deluty (1977) com procedimentos que melhoraram o desenho experimental e a análise de dados para estudar a questão do responder relacional vs. responder absoluto. Nos artigos, os autores também apresentam uma revisão detalhada do trabalho de Church e Deluty (1977).

Carvalho, Machado, & Vasconcelos (2016). Os autores revisam as principais tarefas experimentais usadas na pesquisa em timing e os principais resultados obtidos até hoje. Propõem uma abordagem integrativa dos resultados que se baseia na interação de gradientes de generalização temporal.

Richelle & Lejeune (1980). Livro de referência na área do timing, escrito por dois dos principais pesquisadores da área. Resume os principais procedimentos, resultados e propriedades do responder controlado por intervalos de tempo.

REFERÊNCIAS

- Arantes, J., & Machado, A. (2008). Context effects in a temporal discrimination task: Further tests of the Scalar Expectancy Theory and Learning-to-Time models. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *90*, 33-51.
- Carvalho, M. P., & Machado, A. (2012). Relative versus absolute stimulus control in the temporal bisection task. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *98*, 23-44.
- Carvalho, M. P., Machado, A., & Tonneau, F. (2016). Learning in the temporal bisection task: Relative or Absolute? *Journal of Experimental Psychology*, *42*, 67-81.
- Carvalho, M. P., Machado, A., & Vasconcelos, M. (2016). Animal timing: a synthetic approach. *Animal Cognition*, 1-26.
- Catania, A. C. (1999). *Aprendizagem: Comportamento, Linguagem e Cognição* (4^a ed.). Porto Alegre: Artes Médicas.
- Church, R. M. (2002). Temporal learning. In H. Pashler, & R. Gallistel (Eds), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*, Third Edition: Volume 3, Learning, Motivation, and Emotion (pp. 365-393). New York, NY: Wiley.
- Church, R. M., & Deluty, M. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 216-228.
- Galtress, T., & Kirkpatrick, K. (2010). Reward magnitude effects on temporal discrimination. *Learning and Motivation*, *41*, 108-124.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, *84*, 279-325.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*, *22*, 3-38.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1984). Sources of variance in an information processing theory of timing. In H. L. Roitblat, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds), *Animal Cognition* (pp. 465-488). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibbon, J., Church, R. M., & Meck, W. H. (1984). Scalar Timing in Memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *423*, 52-77.
- Gulliksen, H. (1932). Studies of transfer of response: I. Relative versus absolute factors in the discrimination of size by the white rat. *Journal of Genetic Psychology*, *40*, 37-51.
- Herrnstein, R. J. (1970). On the law of effect. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *13*, 243-266.
- Köhler, W. (1918/1938). Simple structural functions in the chimpanzee and in the chicken. In W. D. Ellis (Ed), *A source book of*

- gestalt psychology* (pp. 217-227). New York: Harcourt, Brace & World. (Trabalho original publicado em alemão em 1918).
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*, 104, 241-265.
- Machado, A., & Arantes, J. (2006). Further tests of the Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time (LeT) model in a temporal bisection task. *Behavioural Processes* 72, 195-206.
- Machado, A., & Keen, R. (1999). Learning to Time (LeT) or Scalar Expectancy Theory (SET)? A critical test of two models of timing. *Psychological Science*, 10, 285-290.
- Machado, A., Malheiro, M. T., & Erlhagen, W. (2009). Learning to time: A perspective. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 92, 423-458.
- Machado, A., & Oliveira, L. (2009). Dupla bissecção temporal: testes críticos de dois modelos de timing. *Acta Comportamentalia*, 17, 25-60.
- Machado, A., & Pata, P. (2005). Testing the scalar expectancy theory (SET) and the learning-to-time model (LeT) in a double bisection task. *Learning & Behavior*, 33, 111-122.
- Oliveira, L., & Machado, A. (2008). The effect of sample duration and cue on a double temporal discrimination. *Learning and Motivation*, 39, 71-94.
- Oliveira, L., & Machado, A. (2009). Context effect in a temporal bisection task with the choice keys available during the sample. *Behavioural Processes*, 81, 286-292.
- Pavlov, I. (1927). *Conditioned reflexes*. London: Oxford University Press.
- Raslear, T. G. (1985). Perceptual bias and response bias in temporal bisection. *Perception & Psychophysics*, 38, 261-268.
- Richelle, M., & Lejeune, H. (1980). *Time in animal behaviour*. Oxford: Pergamon Press Ltd.
- Saldanha, E. L., & Bitterman, M. E. (1951). Relational learning in the rat. *The American Journal of Psychology*, 64, 37-53.
- Santo Agostinho. (2004). *Confissões, Livro XI, XIV, 17* (2ª ed.). Lisboa: Imprensa Nacional da Casa da Moeda.
- Spence, K. W. (1936). The nature of discrimination learning in animals. *Psychological Review*, 43, 427-449.
- Spence, K. W. (1937). The differential response in animals to stimuli varying within a single dimension. *Psychological Review*, 44, 430-444.
- Stubbs, D. A. (1968). The discrimination of

stimulus duration by pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11, 223-238.

Stubbs, D. A. (1976). Response bias and the discrimination of stimulus duration. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 25, 243-250.

Vieira de Castro, A. C., & Machado, A. (2012). The interaction of temporal generalization gradients predicts the context effect. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 97, 263-279.

Vieira de Castro, A. C., Machado, A., & Tomanari, G. Y. (2013). The context effect as interaction of temporal generalization gradients: Testing the fundamental assumptions of the Learning-to-Time model. *Behavioural Processes*, 95, 18-30.