

Dupla bissecção temporal: Testes críticos de dois modelos de timing⁽¹⁾

(Double temporal bisection: Critical tests of two timing models)

Armando Machado⁽²⁾ e Luís Oliveira

Filiação Institucional: Universidade do Minho e Washington University in St. Louis

(Received August 15; Accepted September 10, 2008)

O estudo da regulação temporal nos animais, normalmente denominado em inglês por «*timing*», tem seguido duas linhas de investigação: o estudo da percepção da hora/altura do dia, relacionado com os ritmos circadianos («*circadian timing*»), e o estudo da percepção e adaptação a intervalos de tempo de duração arbitrária («*interval timing*»; Gallistel, 1990; Richelle & Lejeune, 1980; Roberts, 1998; Shettleworth, 1998). Este artigo centra-se nesta segunda área de investigação e tem como objectivo comparar dois modelos teóricos que tentam explicar como é que os animais se adaptam a estes intervalos de duração variável. O primeiro modelo, de cariz cognitivo, é conhecido como «*Scalar Expectancy Theory*» e foi desenvolvido por Gibbon e seus colaboradores a partir do final dos anos 70 (p. ex., Gibbon, 1977, 1981, 1991). O segundo modelo, de cariz comportamental, designa-se por «*Learning-to-Time*» e foi desenvolvido por Machado (1997) a partir dos trabalhos de Killeen e Fetterman (1988, 1993). Apesar dos dois modelos explicarem igualmente bem algumas propriedades da regulação temporal nos animais, os seus pressupostos são muito diferentes, sobretudo no que diz respeito ao processo de aprendizagem envolvido. De facto, os modelos respondem de forma bastante diferente à pergunta «O que aprende um animal numa tarefa temporal

Endereço: Armando Machado Instituto de Educação e Psicologia Universidade do Minho 4710 Braga Portugal Email: armandom@iep.uminho.pt

1) A investigação resumida neste artigo foi financiada por um projecto concedido pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) de Portugal ao primeiro autor.

2) A correspondência sobre este artigo pode ser enviada para Armando Machado (armandom@iep.uminho.pt).

típica?». Para perceber estas diferenças, consideremos a tarefa de bissecção temporal simples (ver painel superior da Figura 1). Esta tarefa consiste numa discriminação temporal com dois estímulos-amostra. Por exemplo, apresenta-se a um pombo uma luz branca que pode assumir duas durações distintas, digamos, 1 e 4 segundos. Após o estímulo-amostra, o pombo escolhe entre dois estímulos de comparação, digamos, uma tecla vermelha e uma tecla verde. Se a amostra tiver sido a mais curta (1 s), o pombo será reforçado se escolher a tecla vermelha; se a amostra tiver sido a mais longa (4 s), será reforçado se escolher a tecla verde. Assim que o pombo tiver aprendido a discriminação, o experimentador introduz testes nos quais apresenta amostras de durações intermédias entre 1 e 4 segundos e mede, para cada amostra, a preferência do animal por uma das teclas, digamos, pela tecla vermelha. A função que relaciona a proporção de respostas à tecla vermelha com a duração do estímulo teste, denominada por função psicométrica, tem três características fundamentais. A primeira característica é que, à medida que a duração da amostra aumenta, a probabilidade de escolher a tecla vermelha – $P(\text{Vermelho})$ – diminui de forma sigmóide de valores próximos de 1 até valores próximos de 0. A segunda característica é que a duração para a qual $P(\text{Vermelho}) = .5$, ou seja, a duração subjectivamente equidistante das durações de treino (ponto de indiferença ou de igualdade subjectiva – PIS), está próxima da média geométrica destas durações (Catania, 1970; Church & Deluty, 1977; Fetterman & Killeen, 1991; Platt & Davis, 1983; Stubbs, 1968). Recorde-se que a média geométrica de dois números, x e y , é igual a \sqrt{xy} . Assim, no exemplo em análise, o PIS ocorre cerca dos 2 s, a média geométrica de 1 s e 4 s. A terceira e última característica é que as funções psicométricas obtidas com durações de treino no mesmo rácio (p. ex., 1 s vs. 4 s e 4 s vs. 16 s) são iguais entre si, excepto por uma transformação de escala. Por isso, se as durações entre 4 e 16 s forem divididas por 4, de tal modo que as duas discriminações possam ser expressas numa escala comum, as duas funções sobrepõem-se. A sobreposição das funções psicométricas indica que as discriminações temporais estão de acordo com a Lei de Weber, dado que rácios iguais originam discriminações iguais. De um modo mais geral, a sobreposição das funções psicométricas revela a propriedade escalar das regulações temporais (Bizo & White, 1994, 1995a, 1995b; Fetterman & Killeen, 1991; Killeen & Fetterman, 1988; Machado, 1997; Morgan, Killeen, & Fetterman, 1993).

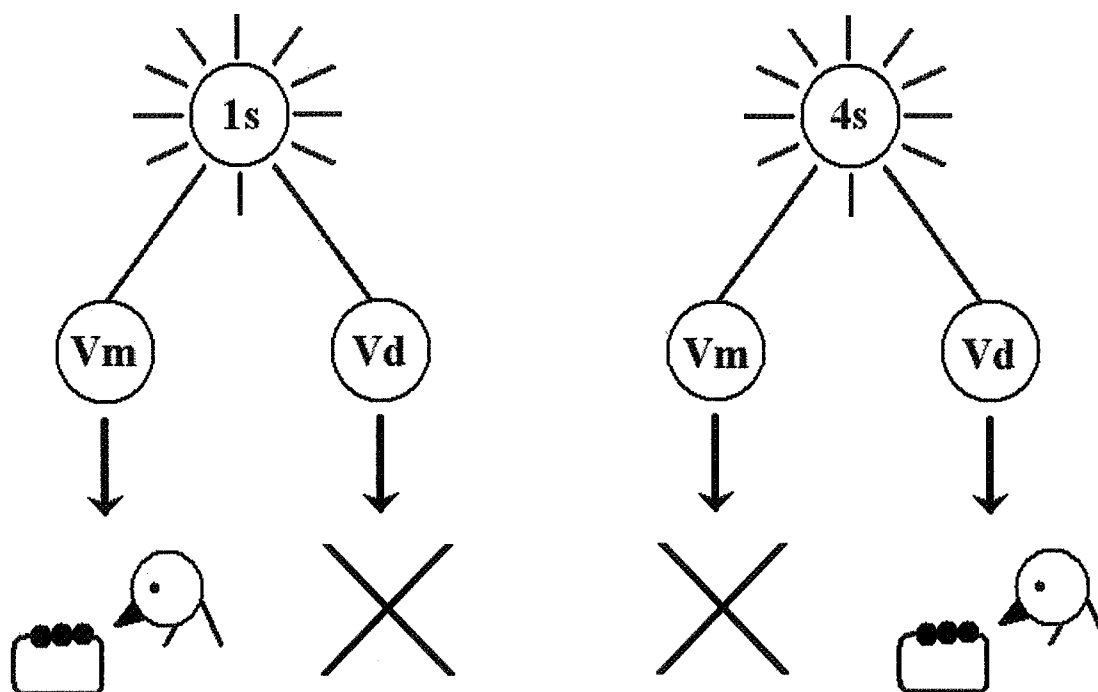
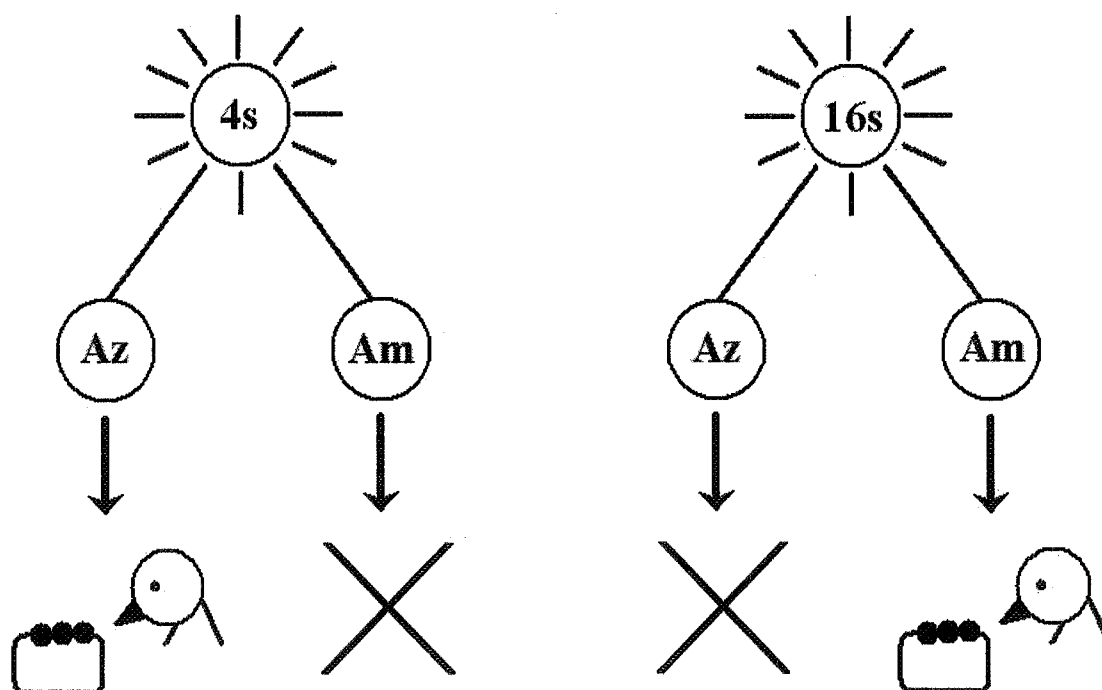
ENSAIOS CURTOS**ENSAIOS LONGOS**

Figura 1. Estrutura dos ensaios de dupla bissecção. Após ser cumprido o critério de aprendizagem nos dois tipos de ensaio, estes passam a ser incluídos em igual número dentro de cada sessão.

Ainda que as previsões do SET e LeT para esta tarefa sejam sensivelmente as mesmas e igualmente consistentes com os resultados empíricos (veja-se Gibbon, 1981; Machado, 1997), os processos invocados por cada modelo são bastante diferentes. Vejamos estes processos em detalhe. O modelo SET (Figura 2, esquerda) assume a existência de um relógio interno que gera pulsos através de um «*pacemaker*», adiciona-os num acumulador e armazena-os numa memória a longo prazo. Durante cada amostra, os pulsos activam o acumulador de tal modo que o valor no acumulador, colocado a zero no início da amostra, aumenta uma unidade com cada pulso. O valor que está no acumulador no final da amostra é guardado na memória a longo prazo.

O modelo pressupõe também que o sujeito forma uma memória distinta para cada duração aprendida. Seguindo o nosso exemplo, o animal formaria uma memória para durações de 1 s e outra para durações de 4 s. Assim, sempre que a escolha da tecla vermelha fosse reforçada após amostras de 1 s, o valor no acumulador seria armazenado numa memória associada à tecla vermelha; sempre que a escolha da tecla verde fosse reforçada após amostras de 4 s, o valor no acumulador seria armazenado numa memória associada à tecla verde. Como a velocidade do «*pacemaker*» não é sempre a mesma, o número de pulsos armazenados após amostras com a mesma duração variará de ensaio para ensaio e, por isso, cada armazém de memória conterá uma distribuição de números. Podemos dizer que a média desses números representará a duração da amostra correspondente.

De acordo com o SET, no final de cada amostra, o animal decide em que tecla bicar comparando três números, o número de pulsos no acumulador no ensaio presente, X , um número retirado aleatoriamente da memória associada à tecla vermelha (e daí às amostras curtas), C , e um número retirado aleatoriamente da memória associada à tecla verde (e daí às amostras longas), L . Concretamente, o animal formaria os rácios X/C e L/X e decidiria bicar a tecla verde (classificar o estímulo como «Longo») se $X/C > L/X$ e bicar a tecla vermelha (classificá-lo como «Curto») se $X/C < L/X$. O modelo prevê funções psicométricas com as três propriedades referidas acima.

Por outro lado, o LeT (Figura 2, direita) defende que, durante a amostra, o animal passa por vários estados comportamentais que vão sendo sucessivamente activados com o passar do tempo. O tempo durante o qual o animal permanece num dado estado é uma variável aleatória. Por isso, mesmo após amostras com duração constante (p. ex., 1 s), o estado que está activo no final da amostra não é sempre o mesmo. A regularidade é estatística – os estados activos no final das amostras de 1 s são em geral anteriores aos estados activos no final das amostras de 4 s. A dinâmica dos estados pode ser conceptualizada como uma onda de activação que flui ao longo dos estados com o decorrer do tempo. O valor da activação de um estado num dado momento corresponde à probabilidade do animal se encontrar nesse estado nesse momento.

Cada um dos estados comportamentais encontra-se ligado por elos associativos às respostas operantes. Quando o animal se encontra num dado estado e emite uma

resposta que é reforçada, duas consequências ocorrem. Primeiro, a força dos elos associativos entre esse estado e essa resposta aumenta um certo valor, digamos, x ; segundo, a força dos elos associativos entre esse estado e a outra resposta diminui o mesmo valor x . Por outro lado, quando o animal se encontra num dado estado e emite uma resposta que não é reforçada, a força dos elos associativos entre esse estado e essa resposta diminui um certo valor, y , enquanto que a força dos elos associativos entre esse estado e a outra resposta aumenta o mesmo valor y . Juntamente com a dinâmica dos estados descrita anteriormente, estas regras de aprendizagem implementam dois princípios comportamentais, *competição de respostas* (Staddon, 1983) e *generalização temporal* (Church & Gibbon, 1982) – competição de respostas porque os elos associativos das duas respostas variam sempre em sentido oposto, ou seja, quando uns aumentam os outros diminuem; generalização temporal porque, como o estado que está activo no final de uma amostra não é sempre o mesmo, as modificações dos elos associativos atingem vários estados assegurando que os efeitos do reforço e da extinção sejam generalizados.

Por último, o LeT pressupõe que a escolha do animal no final de uma amostra de duração T depende do estado activo nesse momento e da força dos elos associativos entre esse estado e as duas respostas. A resposta com elos associativos mais fortes tem maior probabilidade de ocorrer.

Na tarefa de bissecção (1 s vs. 4 s), os estados comportamentais iniciais ficam ligados fortemente à tecla vermelha e debilmente à tecla verde porque, quando o animal se encontra nesses estados após as amostras de 1 s, as escolhas da tecla vermelha são reforçadas e as escolhas da tecla verde são extintas. Daí que, no final do treino, após estímulos curtos o animal terá maior probabilidade de escolher a tecla vermelha. Por razões semelhantes, os estados comportamentais subsequentes, activos após as amostras de 4 s, ficam ligados fortemente à tecla verde e debilmente à tecla vermelha. No final da aprendizagem, após estímulos longos o animal terá maior probabilidade de escolher a tecla verde. O LeT prevê ainda que a) a probabilidade de escolher a tecla vermelha diminuirão com a duração do estímulo teste; b) o ponto de indiferença estará próximo, mas ligeiramente acima, da média geométrica das durações de treino; e c) sob certas condições, as funções psicométricas obtidas com durações no mesmo rácio sobrepõem-se (veja-se Machado, 1997).

Como vimos, os dois modelos fazem previsões semelhantes e, de modo geral, correctas para a tarefa de bissecção simples. Por isso foi necessário desenvolver uma nova tarefa que distinguísse os modelos. Esta tarefa designa-se por bissecção dupla e consiste na aprendizagem não de uma, mas de duas discriminações temporais (Figura 1). Durante o treino, e usando o exemplo anterior, os pombos começam por aprender a discriminar estímulos com 1 e 4 segundos (ensaios Curtos), associando estas durações às teclas vermelha e verde, respectivamente. De seguida, os pombos aprendem uma nova discriminação, desta feita entre estímulos com 4 e 16 segundos (ensaios Longos).

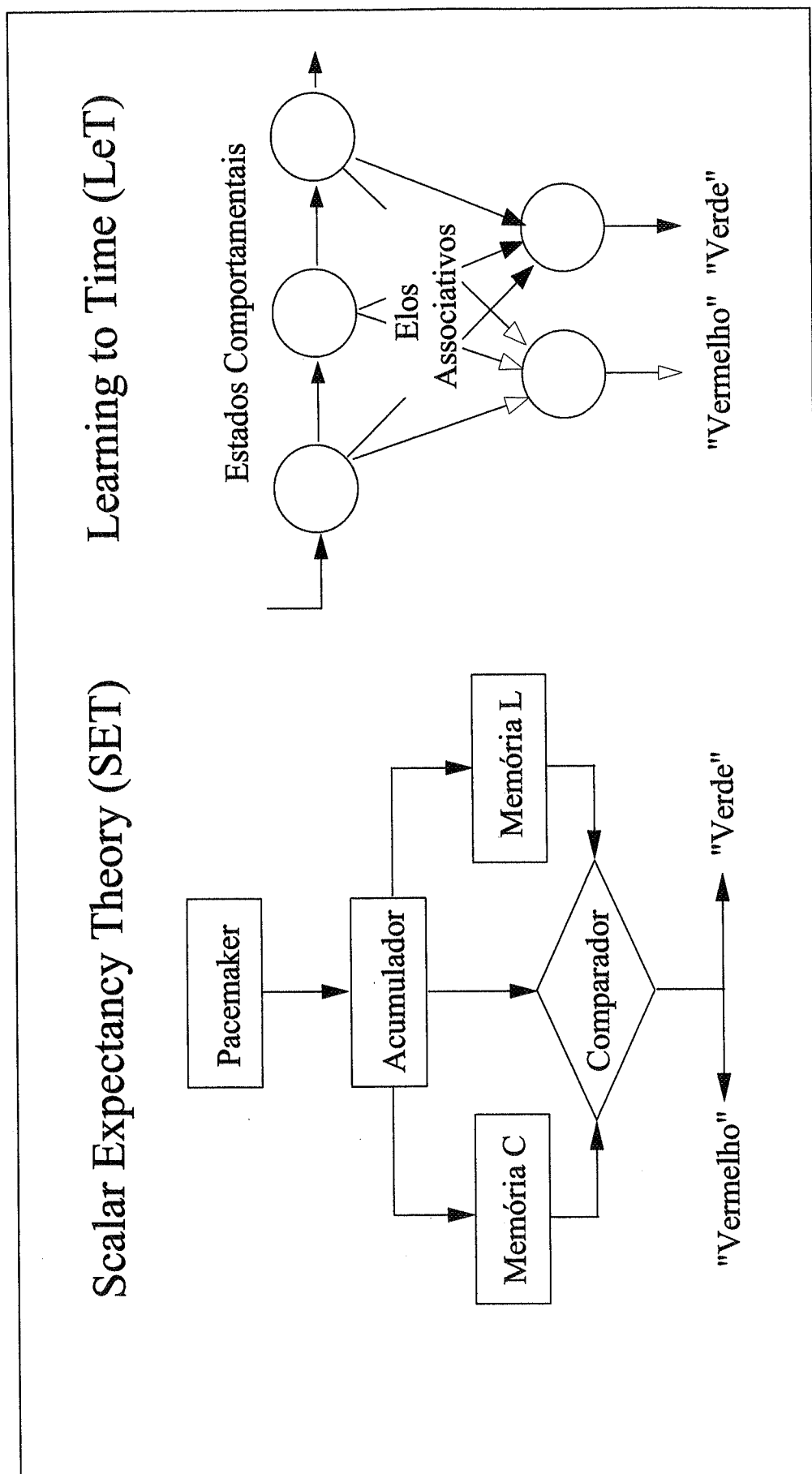


Figura 2 – Esq.: Estrutura e funcionamento do modelo SET numa tarefa de bissecção. A resposta depende da comparação entre o número de pulsos acumulado no ensaio e as amostras retiradas das memórias para as durações aprendidas. Dir.: Estrutura e funcionamento do modelo LeT. A força dos elos associativos activados ao longo do ensaio e as respostas instrumentais dependem das contingências de reforço.

Usando duas novas cores, uma azul e a outra amarela, os pombos recebem comida se escolherem a tecla azul após o estímulo de 4 s ou a tecla amarela após o estímulo de 16 s. Os dois tipos de ensaio são depois apresentados dentro da mesma sessão, de tal forma que metade dos ensaios são Curtos e a outra metade são Longos. Assim que é cumprido o critério de aprendizagem (80% de respostas correctas em cada uma das quatro amostras), os testes começam.

Na fase de teste são apresentadas amostras com durações que variam entre 1 s e 16 s, sendo estas seguidas por estímulos de comparação que o pombo nunca antes viu juntos: as teclas Vermelha e Amarela, Vermelha e Azul, Verde e Amarela, ou Verde e Azul. Embora os modelos façam previsões específicas para cada uma destas situações de teste (Figura 3), a previsão mais importante é a que diz respeito à escolha entre Verde e Azul, uma vez que é nesta situação que as previsões são mais díspares.

Como escolherão então os animais se, após amostras que variam entre 1 s e 16 s, lhes apresentarmos as teclas verde e azul? Note-se que, para além de nunca terem sido apresentadas juntas durante a fase de treino, ambas as teclas estão associadas à mesma duração-treino de 4 s. Segundo o SET (Figura 3, em cima), nesta situação o animal compararia o valor no acumulador no final do estímulo de teste com duas amostras retiradas aleatoriamente das memórias associadas às teclas azul e verde. Uma vez que ambas as teclas estão associadas à duração de 4 s, as distribuições do número de pulsos armazenadas nas suas respectivas memórias seriam estatisticamente equivalentes, pelo que o animal seria, em média, indiferente na sua escolha. Obviamente, o animal poderá ter um viés por uma das teclas ou cores, mas o facto crucial é que o SET prevê que a preferência pela tecla verde não varie com a duração da amostra.

Por outro lado, como foi explicado anteriormente, o LeT assume que, devido às contingências de reforço e aos processos de generalização temporal e competição de respostas, os elos associativos modificar-se-ão do seguinte modo (Figura 3, em baixo). Inicialmente, cada estado está igualmente associado às duas respostas em competição. Como a força de cada elo associativo (chamemos-lhe W) pode variar entre 0 e 1, assumimos que inicialmente a força de todos os elos associativos é igual a 0.5. Este valor vai alterar-se ao longo do treino. Assim, os estados iniciais (assim designados por serem os mais activos por volta de 1 s) ficarão fortemente associados à resposta Vermelho (ou seja, $W(\text{Inicial}, \text{Vermelho}) \approx 1$), mas perderão a sua associação com a resposta Verde ($W(\text{Inicial}, \text{Verde}) \approx 0$); a associação inicial destes estados com as respostas Azul e Amarelo permanecerá inalterada ($W(\text{Inicial}, \text{Azul}) \approx W(\text{Inicial}, \text{Amarelo}) \approx 0.5$), porque estes estados praticamente nunca estão activos quando o animal escolhe entre estas duas teclas. Os estados intermédios (isto é, os mais activos por volta dos 4 s) ficarão, por efeito dos ensaios Curtos, fortemente associados à resposta Verde ($W(\text{Intermédio}, \text{Verde}) \approx 1$) e pouco ou nada associados à resposta Vermelho ($W(\text{Intermédio}, \text{Vermelho}) \approx 0$) e, por efeito dos ensaios Longos, fortemente

associados à resposta Azul ($W(\text{Intermédio}, \text{Azul})H \approx 1$) e pouco ou nada associados à resposta Amarelo ($W(\text{Intermédio}, \text{Amarelo})H \approx 0$). Por último, os estados finais (os mais activos por volta dos 16 s) ficarão fortemente associados à resposta Amarelo ($W(\text{Final}, \text{Amarelo})H \approx 1$) e pouco ou nada associados à resposta Azul ($W(\text{Final}, \text{Azul})H \approx 0$); a sua associação inicial com as respostas Vermelho e Verde não sofrerá alterações ($W(\text{Final}, \text{Vermelho})H \approx W(\text{Final}, \text{Verde})H \gg 0.5$). Em resumo, o LeT prevê que os estados iniciais estarão ligados mais fortemente ao Azul do que ao Verde e, por isso, após um sinal de 1 s, o animal preferirá a tecla azul. Como os estados finais estarão ligados mais fortemente ao Verde do que ao Azul, após um sinal de 16 s, o animal preferirá a tecla verde. A preferência pela tecla verde aumentará monotonicamente com a duração do sinal.

Os modelos SET e LeT prevêem resultados substancialmente diferentes porque diferem num pressuposto de base, que poderíamos designar como o efeito das alternativas na discriminação temporal ou, de modo equivalente, como o efeito do contexto em que um estímulo temporal se insere. Apesar das teclas verde e azul estarem associadas à mesma duração, as suas alternativas ou contextos diferem – estímulos de 1 s e 16 s, respectivamente. De acordo com o SET, esta diferença é irrelevante porque as memórias associadas às teclas são independentes das alternativas – a representação que o animal faz de um estímulo de 4 s não é influenciada pela duração do outro estímulo. De acordo com o LeT, esta diferença nas alternativas ou contextos é relevante porque ela causa diferenças na força dos elos associativos, que por sua vez levam à preferência pelo Azul após amostras mais curtas e pelo Verde após amostras mais longas. À luz do LeT, é como se o estímulo de comparação Azul fosse classificado como Curto em relação ao estímulo de comparação Verde.

As restantes curvas da Figura 3 mostram que as previsões dos modelos para as outras combinações de estímulos de comparação são também diferentes. De acordo com o SET, as três curvas terão a mesma forma pois todas elas são iguais após uma transformação de escala. Quanto ao LeT, este prevê uma curva em U quando a escolha é entre vermelho e azul e em U invertido quando a escolha é entre verde e amarelo. Para o teste entre vermelho e amarelo, o LeT prevê uma curva descendente semelhante à prevista pelo SET.

Com o intuito de explorar a tarefa de dupla bissecção, e de assim testar as previsões dos modelos, foram realizados seis estudos (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Oliveira & Machado, 2008). O objectivo do presente artigo é resumir os principais resultados desses seis estudos e discutir de um modo integrado as implicações destes resultados para as teorias de

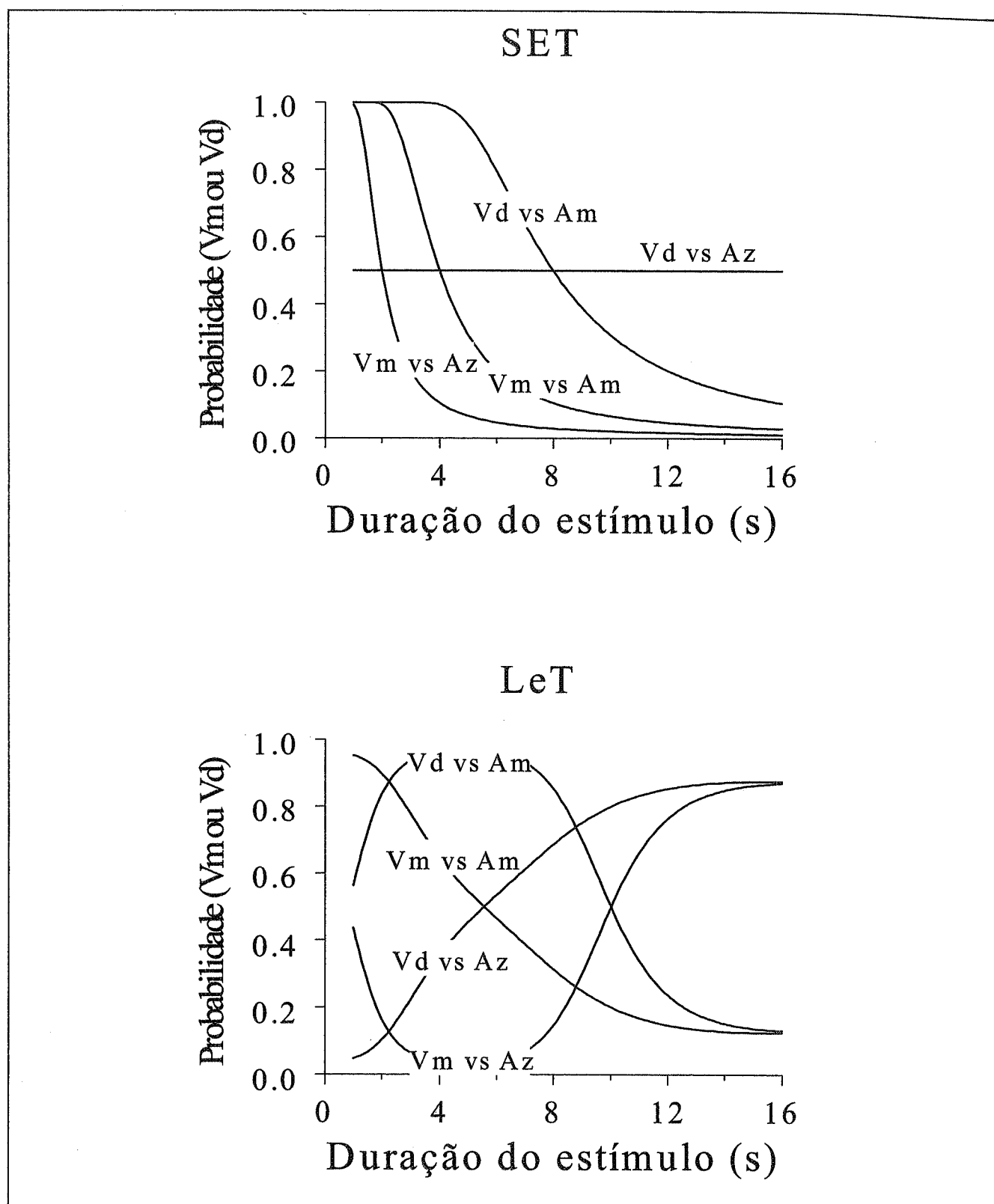


Figura 3 – Previsões do SET (em cima) e do LeT (em baixo) para o teste de generalização estímulo-resposta, sendo mostrada a proporção de respostas ao estímulo vermelho ou verde em função da duração do estímulo.

MÉTODO

Sujeitos e Aparato Experimental

Pombos (*Columba livia*), mantidos a 80% do seu peso ad lib, participaram nestas experiências. O número de sujeitos utilizados variou entre os seis e os dez. Nas várias experiências utilizaram-se caixas de condicionamento operante típicas para pombos. O painel frontal de cada caixa possuía três teclas com 2 cm de diâmetro, centradas na parede, a 8 cm de distância umas das outras e 22 cm acima da grelha metálica no chão. As teclas laterais podiam ser iluminadas com luzes de cor vermelha, verde, azul e amarela. A tecla central podia ser iluminada com luz de várias cores e com barras horizontal e vertical. A abertura para o alimentador media 6x7 cm e estava situada abaixo da tecla central, 4 cm acima do chão. Quando o alimentador era activado, uma luz branca de 7.5 W acendia-se e o animal podia então aceder ao grão. Outra luz de 7.5 W, situada na parede de trás da caixa, fornecia iluminação geral. Os painéis estavam colocados dentro de caixas equipadas com ventiladores que serviam para arejar as caixas e atenuar ruídos externos. Computadores pessoais programados na linguagem C++ controlavam as experiências e registavam os dados.

Procedimento

Treino. As experiências dividiram-se em três fases: treino, pré-teste e teste. Durante o treino, os pombos aprenderam as duas discriminações temporais básicas. A sequência de acontecimentos num ensaio era a seguinte: no início do ensaio, a luz de iluminação geral e a tecla central acendiam-se com luz branca. No fim do período da amostra (p. ex., 4 s), a tecla central apagava-se e acendiam-se as teclas laterais com duas cores diferentes (p. ex., vermelho e verde). Qualquer bicada numa das teclas de escolha apagava as mesmas, bem como a luz de iluminação geral. Se a resposta fosse correcta, o alimentador era activado. Após o reforço, iniciava-se um intervalo entre ensaios (IEE) de 20 a 45 segundos, dependendo do estudo. Se a resposta fosse incorrecta, o IEE começava de imediato e o ensaio era repetido (método de correcção). Caso o pombo cometesse três erros consecutivos, apenas a tecla correcta era iluminada no ensaio seguinte. As sessões terminavam após serem obtidos 60 ou 64 reforços, dependendo do estudo.

Nesta fase, existiam dois tipos de sessões. Nas sessões de ensaios Curtos, os pombos aprendiam a distinguir entre amostras de 1 e 4 segundos; nas sessões de ensaios Longos entre amostras de 4 e 16 segundos. A discriminação que os pombos aprenderam em primeiro lugar foi contrabalanceada, assim como a atribuição das diferentes cores às várias durações da amostra. No entanto, no caso da atribuição de

cores, aplicaram-se duas restrições: (a) os pares de cores eram sempre Vermelho-Verde e Azul-Amarelo; e (b) o verde e o azul estavam sempre associados à duração da amostra de 4 s. Porém, para facilitar a descrição, apresentaremos o procedimento e os resultados como se, para todos os pombos, os ensaios Curtos fossem sempre associados ao par Vermelho-Verde (sendo vermelho correcto após estímulos de 1 s) e os ensaios Longos ao par Azul-Amarelo (sendo amarelo correcto após estímulos de 16 s). As cores verde e azul eram correctas após estímulos de 4 s (ver Figura 1). As duas cores apresentadas em cada tipo de ensaio (inclusivamente ensaios de teste) ocorriam sempre o mesmo número de vezes nas teclas da esquerda e da direita, mas de forma aleatória.

Assim que os pombos aprendiam a primeira discriminação, passavam para a segunda discriminação. Quando aprendiam esta última, as sessões com ensaios Curtos e Longos alternavam diariamente. A duração desta fase variou ao longo dos estudos, sendo que, em média, os pombos precisaram de 35 a 40 sessões para aprenderem as duas discriminações.

Pré-teste. Durante as primeiras cinco a dez sessões desta fase, metade dos ensaios de cada sessão eram Curtos e metade Longos, as respostas correctas eram reforçadas e as respostas incorrectas causavam a repetição do ensaio (máximo de três repetições). Estes ensaios são chamados «ensaios regulares».

Seguidamente, durante mais cinco a dez sessões, foram introduzidos alguns ensaios em extinção para adaptar os pombos à menor taxa de reforço que iria ocorrer na fase de teste. Para além de não terminarem com o reforço – mesmo que a resposta fosse correcta –, os ensaios em extinção não eram repetidos em caso de resposta incorrecta. Nos vários estudos, estas sessões incluíam cerca de dois terços de ensaios regulares e um terço de ensaios em extinção, proporção que era mantida ao longo das sessões de teste, substituindo-se nessa fase os ensaios em extinção pelos ensaios de teste.

O desempenho dos pombos foi medido através da proporção de escolhas correctas nas últimas cinco sessões da fase de pré-teste. Os resultados mostraram que, embora o desempenho tivesse variado de cerca de .8 até cerca de 1.0, a média de todos os sujeitos em cada estudo situou-se acima de .9. Estes níveis de desempenho no final da fase de pré-teste mantiveram-se durante a fase de teste, pelo que se pode concluir que, em todos os estudos, os pombos aprenderam bem a tarefa de dupla bissecção temporal.

Teste. Esta fase é designada por generalização estímulo-resposta. Neste teste, para além das amostras usadas durante o treino, são apresentadas ainda amostras com durações intermédias (p. ex., 1, 2, 4, 8 e 16 s). Para além disso, os estímulos de comparação são emparelhados de forma diferente. As novas combinações são Vermelho-Amarelo, Vermelho-Azul, Verde-Amarelo e Verde-Azul. Como vimos, o

teste que apresenta as cores verde e azul juntas pela primeira vez é o teste crítico, uma vez que distingue claramente os modelos – enquanto que o SET prevê indiferença entre as duas teclas, o LeT prevê um aumento da preferência pela tecla verde à medida que a duração da amostra aumenta.

Este teste foi apresentado de diversas maneiras ao longo dos estudos aqui resumidos. A Tabela 1 identifica cada um dos estudos, o seu objectivo, o número de sujeitos e os testes que utilizou. Assim, o primeiro estudo apresenta o procedimento de base e os testes de generalização estímulo-resposta que lhe são inerentes. O segundo estudo testa uma previsão mais específica do modelo LeT ao variar a duração do estímulo mais longo de 16 s para 8 s, de forma a perceber o efeito dessa variação na preferência entre os novos pares de cores. O terceiro estudo avalia o efeito (transferência) do treino de base na aprendizagem de uma nova discriminação. O quarto e quinto estudos investigam o efeito de sinalizar global ou localmente que amostra (Curta ou Longa) e que estímulos de comparação (Vermelho vs. Verde ou Azul vs. Amarelo) serão apresentados em cada ensaio. O sexto e último estudo estende a tarefa de dupla bissecção a uma discriminação sucessiva.

RESULTADOS

Estudo 1. A Figura 4 mostra a média dos resultados individuais obtidos no primeiro estudo com o procedimento de dupla bissecção (Machado & Keen, 1999). No painel superior esquerdo encontra-se o resultado mais importante, ou seja, o resultado do teste com as teclas verde e azul, ambas associadas à mesma duração na fase de treino, mas inseridas em contextos discriminativos diferentes. Neste gráfico, verifica-se um aumento monotónico da preferência pelo verde à medida que a duração do estímulo aumenta. Este resultado apoia fortemente as previsões do modelo LeT e contraria as do modelo SET que, recorde-se, prevê indiferença entre as duas cores para todas as durações da amostra.

No que diz respeito ao teste entre as cores vermelha e amarela (painel inferior esquerdo), as cores associadas durante o treino às durações extremas de 1 e 16 segundos, respectivamente, os resultados confirmaram as previsões de ambos os modelos, ou seja, que a preferência pelo vermelho diminuiria com o aumento da duração do estímulo. No entanto, a preferência pelo vermelho na média geométrica (4 s) foi geralmente superior a .5, o que significa que o ponto de bissecção se encontrava acima da média geométrica para a maioria dos pombos, um resultado previsto pelo modelo LeT, mas não pelo SET.

Tabela 1.

Estudo	Objectivos	N	Testes
1. Machado e Keen (1999)	Examinar a tarefa de dupla bissecção temporal e testar as previsões dos modelos SET e LeT.	8	Generalização estímulo-resposta: apresentação de novos pares de cores após amostras de duração variável.
2. Machado e Pata (2005)	Replicar o resultados do estudo anterior e testar uma previsão mais fina do LeT sobre as funções psicométricas.	6	Generalização estímulo-resposta.
3. Machado e Arantes (2006)	Avaliar o efeito (transferência) do treino de base na aprendizagem de uma nova discriminação.	10	Desenho ABA em que A=treino base, B=nova discriminação (consistente ou inconsistente).
4. Arantes e Machado (2008)	Investigar o efeito da sinalização <i>global</i> do tipo de ensaio (duração da amostra e teclas de escolha).	7	Generalização estímulo-resposta.
5. Oliveira e Machado (2008)	Investigar o efeito da sinalização <i>local</i> do tipo de ensaio (duração da amostra e teclas de escolha).	9	Generalização estímulo-resposta.
6. Arantes (2008)	Estender a tarefa de dupla bissecção a uma discriminação sucessiva.	8	Generalização do estímulo-resposta: Amostras de durações variadas seguidas por cada uma das cores.

Sumário dos principais objectivos, número de participantes (N) e testes usados em cada um dos seis estudos.

Nos restantes dois testes, nota-se também que os resultados se encontram próximos das previsões do LeT e em clara divergência com o SET (cf. os painéis da direita da Figura 4 com os painéis da Figura 3). Embora com alguma variação inter-individual, o padrão das curvas obtidas assemelham-se qualitativamente ao padrão previsto pelo LeT – na escolha entre vermelho e azul, obteve-se uma curva em forma de U, com a preferência pelo vermelho a diminuir inicialmente, para depois voltar a subir nas durações mais longas; na escolha entre verde e amarelo, obteve-se uma curva em forma de U invertido, com a preferência pelo verde a aumentar de 1 s a 4 s e a diminuir de seguida.

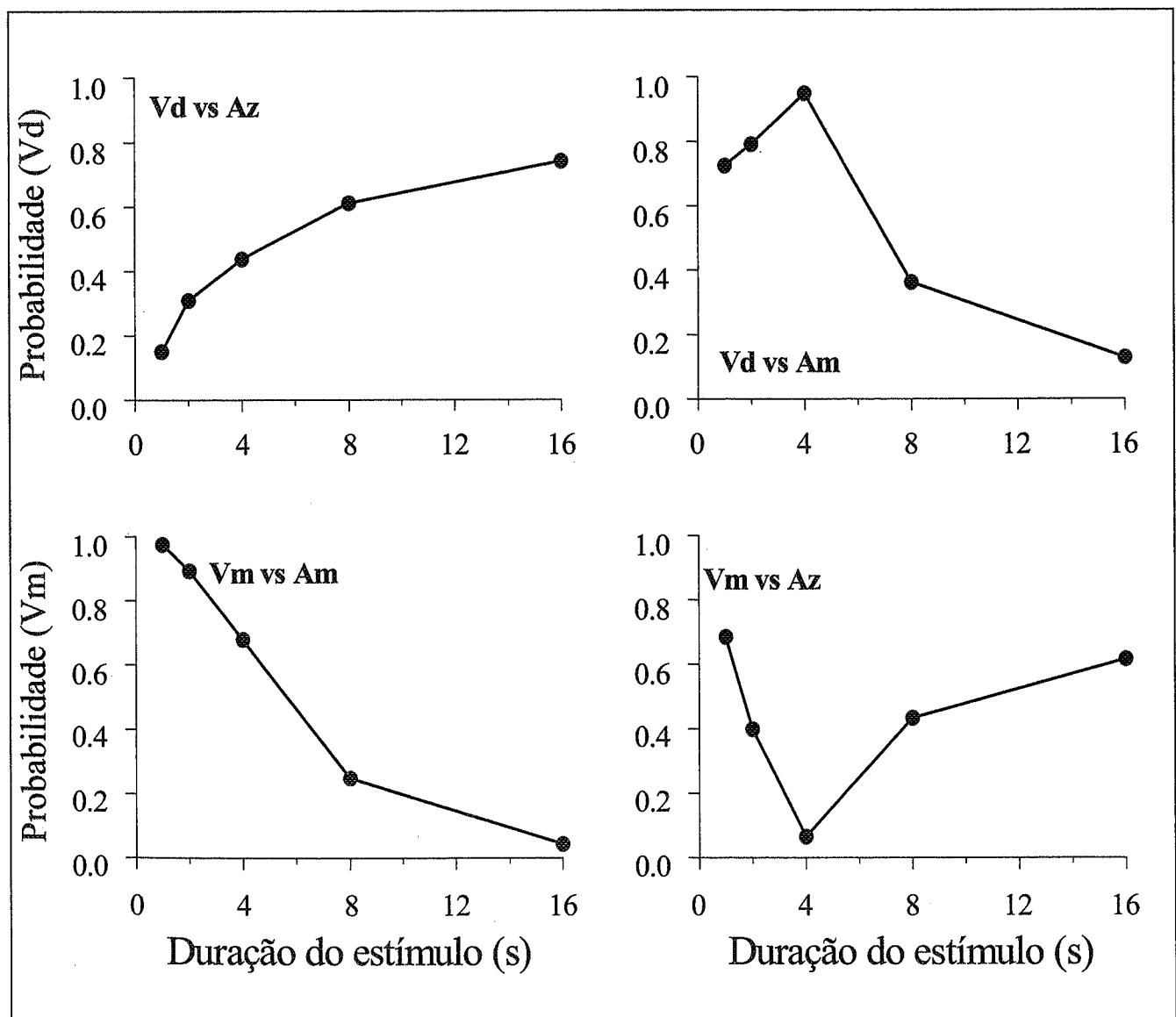


Figura 4. Resultados da fase de teste de generalização estímulo-resposta. Os gráficos mostram a proporção média da escolha da tecla verde (painéis superiores) e da tecla vermelha (painéis inferiores) em função da duração do estímulo de teste.

Estudo 2. Uma vez que estes resultados questionam as previsões do SET, o modelo de timing dominante, era necessário replicá-los. Por seu lado, o êxito do LeT sugeria que se realizassem testes ainda mais finos do modelo, em particular das condições que afectam o efeito de contexto mencionado antes. Para atingir os dois objectivos, Machado e Pata (2005) usaram uma versão ligeiramente diferente do procedimento de dupla bissecção descrito anteriormente. Oito pombos foram divididos em dois grupos. O primeiro grupo aprendeu as mesmas discriminações descritas no estudo anterior, ou seja, entre 1 s e 4 s e entre 4 s e 16 s (Grupo 16). O segundo grupo aprendeu as discriminações entre 1 s e 4 s e entre 4 s e 8 s (Grupo 8). Assim, a discriminação Curta foi a mesma para ambos os grupos, mas a discriminação Longa foi mais difícil para o Grupo 8 do que para o Grupo 16. De acordo com os modelos, quais serão as diferenças entre estes dois grupos num teste de generalização estímulo-resposta com as quatro novas combinações de cores?

A Figura 5 mostra as curvas previstas pelos modelos em cada um dos quatro tipos de teste. No caso da escolha entre verde e azul, o SET prevê que a duração do estímulo não produza qualquer efeito para ambos os grupos. Pelo contrário, o LeT prevê que a preferência pelo verde aumente com a duração da amostra, mas de uma forma mais rápida para o Grupo 8 do que para o Grupo 16, ou seja, o efeito de contexto será mais forte no Grupo 8 do que no Grupo 16. Esta previsão pode ser entendida da seguinte forma: a força dos elos associativos entre os estados comportamentais e a resposta Verde será idêntica em ambos os grupos porque os ensaios Curtos são iguais. No entanto, a força dos elos associativos entre os estados activos aos 8 s e a resposta Azul será mais fraca para o Grupo 8 do que para o Grupo 16. Por outras palavras, os pombos aprenderão a evitar o azul mais cedo no Grupo 8 do que no Grupo 16.

16. Assim, o LeT prevê que, num teste entre o verde e o azul, a preferência pelo verde aumente mais rapidamente no Grupo 8 do que no Grupo 16.

No caso do teste entre o vermelho e o amarelo, ambos os modelos prevêem que a preferência pelo vermelho decresça de uma forma mais rápida para o Grupo 8. Para o teste entre o verde e o amarelo, o SET prevê um decréscimo monotónico na preferência pelo verde, mas mais rápido para o Grupo 8; a previsão do LeT é que ambos os grupos apresentem uma função em forma de U invertido, porém mais larga para o Grupo 16. Finalmente, no teste entre vermelho e azul, o SET prevê que a preferência pelo vermelho diminua de igual modo para ambos os grupos; o LeT prevê que a função em U seja mais larga para o Grupo 16 do que para o Grupo 8.

Os ensaios de teste foram semelhantes aos ensaios anteriores com duas excepções. Primeiro, foi introduzida a duração de 5.7 s para o Grupo 8 (média geométrica entre 4 e 8). Segundo, em vez de serem todos em extinção, 50% dos ensaios de teste, escolhidos aleatoriamente, foram reforçados independentemente da escolha do pombo (reforço não diferencial).

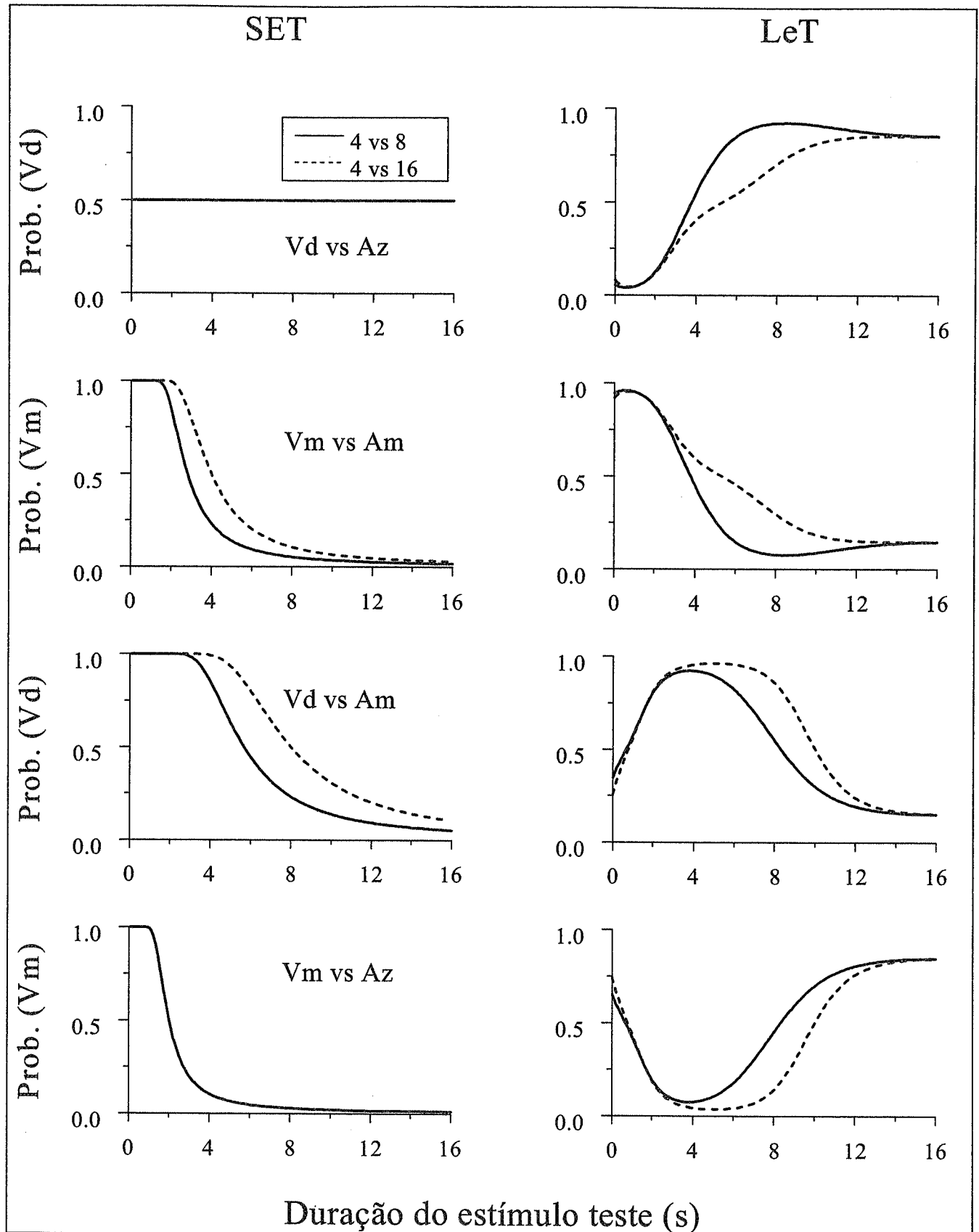


Figura 5 – Previsões dos modelos SET e LeT para o desempenho dos Grupos 8 (linha contínua) e 16 (linha tracejada) no teste de generalização estímulo-resposta.

A Figura 6 compara os resultados do Grupo 16 com os resultados do estudo anterior. Nota-se em todos os painéis que a forma das funções, bem como os valores específicos que estas assumem nas várias durações da amostra, foram semelhantes nos dois estudos. Assim, embora nesta experiência se tenha reforçado de forma não diferenciada 50% dos ensaios de teste, os resultados foram reproduzidos. Este facto fortalece o modelo LeT e enfraquece o modelo SET.

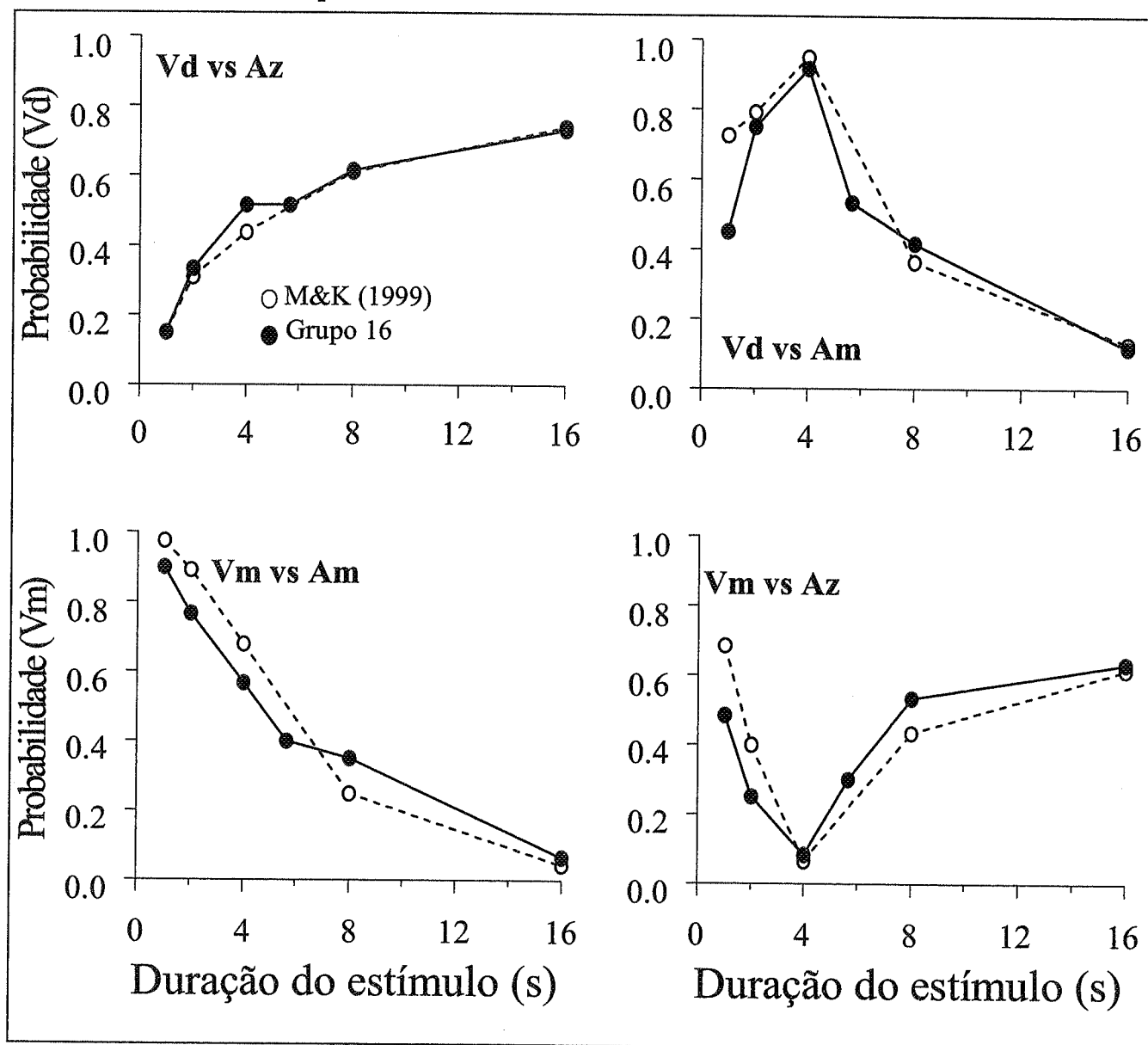


Figura 6 – Comparação entre os resultados médios obtidos pelo Grupo 16 no teste de generalização estímulo-resposta e os dados correspondentes do estudo de Machado e Keen (1999). Cada um dos quatro painéis diz respeito a uma nova combinação de teclas de escolha.

A Figura 7 compara os resultados médios dos Grupos 8 e 16. No painel superior, relativo à escolha entre verde e azul, nota-se que, à medida que a duração de estímulo aumenta, a preferência pelo verde aumenta também, mas o aumento é mais rápido

para o Grupo 8 do que para o Grupo 16. Especificamente, pode verificar-se que, quando a amostra foi de 8 s ou 16 s, os pombos do Grupo 8 escolheram sempre a tecla verde enquanto que os do Grupo 16 o fizeram apenas em cerca de 60% e 70% das vezes, respectivamente. No teste entre vermelho e amarelo, e tal como ambos os modelos prevêem, a preferência pelo vermelho diminuiu à medida que a duração da amostra aumentou. Esta diminuição foi significativamente mais rápida para o Grupo 8. Os resultados obtidos na escolha entre verde e amarelo revelam a forma em U invertido que o LeT prevê, com a função do Grupo 8 ligeiramente mais larga do que a função do Grupo 16, apesar das diferenças entre as curvas não serem fiáveis (o efeito de interacção não foi significativo). Por último, pode ver-se no painel inferior as funções obtidas no teste entre vermelho e azul, que revelam as curvas em forma de U previstas pelo LeT, porém sem diferenças significativas.

Resumindo, o modelo LeT previu que a preferência pelo verde sobre o azul aumentaria com a duração do estímulo para ambos os grupos, mas de uma forma mais rápida para o Grupo 8. Os resultados obtidos apoiam esta previsão e contrariam a previsão do SET. De igual modo, o LeT previu que a preferência de vermelho sobre amarelo diminuiria com o aumento da duração do estímulo, mas de uma forma mais rápida para o Grupo 8. Novamente, os resultados apoiam esta previsão, que desta feita é consistente com ambos os modelos. Nos casos dos testes com os pares Verde-Amarelo e Vermelho-Azul, a forma geral das curvas observadas foi consistente com as previstas pelo LeT, mas muito diferentes das formas previstas pelo SET. Contudo, embora a previsão do LeT aponte para que as curvas sejam sempre mais estreitas para o Grupo 8 do que para o Grupo 16 (ver Figura 5), os resultados mostram uma curva mais larga para o Grupo 8 do que para o Grupo 16 no caso do par Verde-Amarelo e a sobreposição das curvas no caso do par Vermelho-Azul. Conclui-se que, apesar dos valores específicos em algumas funções divergirem das previsões feitas pelo LeT, as formas e padrões gerais das curvas previstas pelo modelo foram semelhantes às obtidas em todas as novas combinações de cor testadas.

Estudo 3. De forma a perceber a robustez do efeito de contexto revelado pelos dois estudos anteriores, Machado e Arantes (2006) tentaram avaliar esse efeito de uma nova maneira. Um grupo de pombos é exposto à fase de pré-teste descrita anteriormente até aprender as duas discriminações temporais de base. De seguida divide-se o grupo em dois e cada um dos dois novos grupos aprende uma nova discriminação temporal. Nesta nova tarefa, a duração da amostra é de 1 s ou 16 s e os estímulos de comparação são as teclas verde e azul. Estes ensaios eram reforçados sempre que a resposta fosse correcta. Se a resposta fosse incorrecta, os ensaios não eram repetidos. Cada sessão incluía ainda ensaios com durações de 2, 4 e 8 segundos, mas estes nunca eram reforçados.

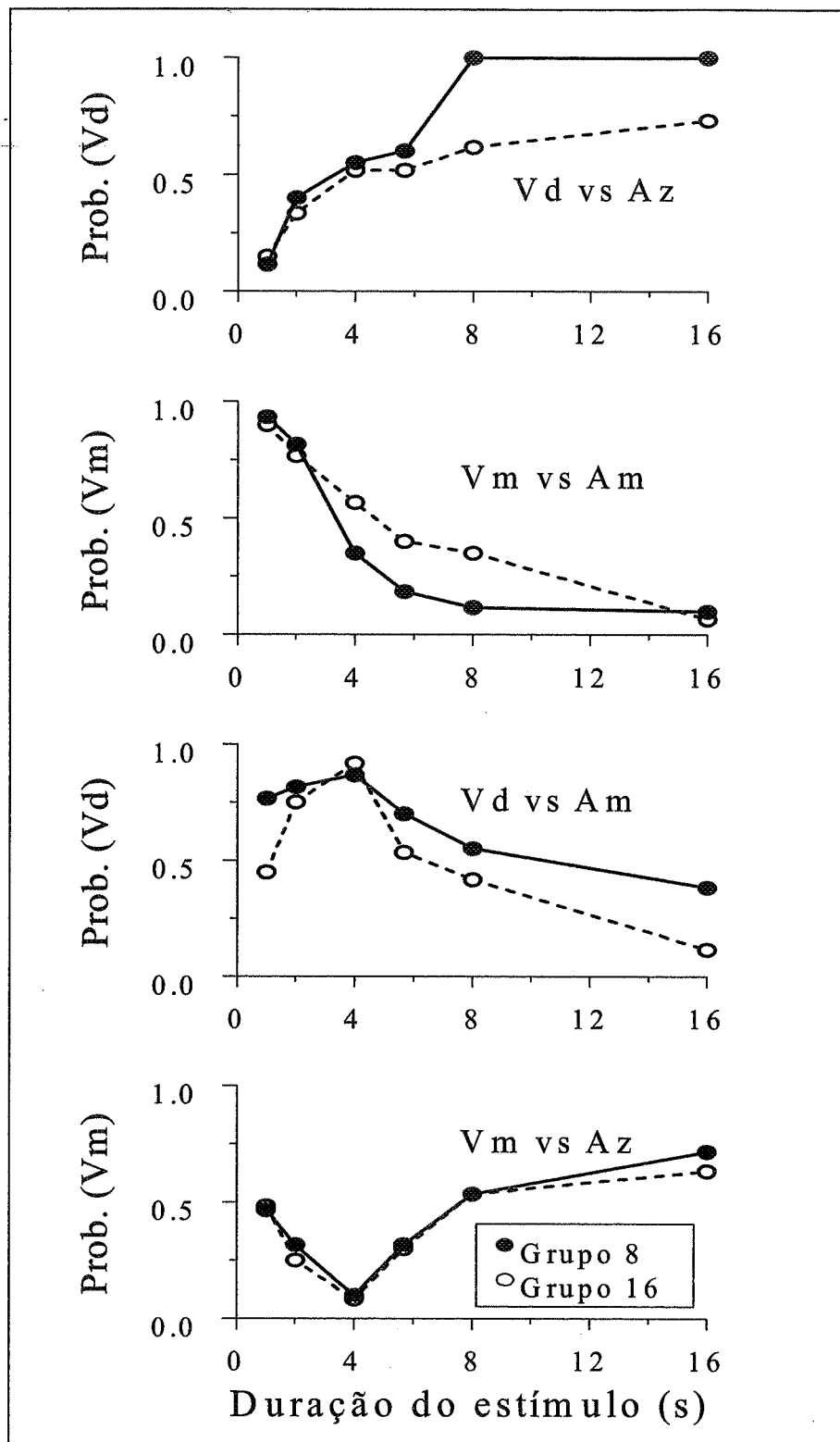


Figura 7 – Média dos resultados obtidos para os Grupos 8 (pontos fechados) e 16 (pontos abertos) no teste de generalização estímulo-resposta.

A diferença entre os dois grupos está nas contingências de reforço. Para um deles, o Azul é a resposta correcta após as amostras de 1 s e o Verde é a resposta correcta após as amostras de 16 s. Considerando as previsões do LeT para os testes de generalização estímulo-resposta apresentados nos estudos anteriores, podemos afirmar que esta terceira discriminação é consistente com a tendência criada pelas duas discriminações de base. Por outras palavras, o treino simultâneo nas discriminações Curta e Longa cria uma tendência para escolher azul após amostras relativamente pequenas e escolher verde após amostras relativamente maiores. Como essa tendência é consistente com as contingências de reforço em vigor na terceira discriminação (1 s \rightarrow Azul, 16 s \rightarrow Verde), este grupo denomina-se Grupo Consistente (GC). O LeT prevê muito poucos erros na nova discriminação de tal modo que, ao longo das sessões, o desempenho melhorará apenas ligeiramente.

Para o segundo grupo, as contingências de reforço invertem-se, ou seja, o Verde é a resposta correcta após as amostras de 1 s e o Azul é a resposta correcta após as amostras de 16 s. Segundo o modelo LeT, esta nova aprendizagem é inconsistente com a tendência criada pelo treino de base e por isso este grupo denomina-se por Grupo Inconsistente (GI). O modelo prevê um número significativamente maior de erros, uma vez que a tendência adquirida no treino de base terá que ser invertida.

Os painéis superiores da Figura 8 mostram as previsões do LeT para os dois grupos. Na primeira sessão da nova discriminação, ambos os grupos terão um comportamento semelhante apesar das contingências de reforço serem opostas. O GC estará próximo do estado estável desde a primeira sessão, mas o GI precisará de algumas sessões para atingir este estado. Embora não se apresentem as previsões do modelo SET, é fácil perceber que, uma vez que o modelo não prevê o efeito de contexto, os dois grupos aprenderão a nova tarefa de forma semelhante.

Os painéis inferiores da Figura 8 mostram os resultados para as sessões 1, 2 e 10 (última) com a nova discriminação. No GC (à esquerda) nota-se que, à medida que a duração da amostra aumenta, a preferência pelo verde também aumenta. Nota-se também que as curvas não mudaram de forma apreciável da primeira à décima sessão, confirmando em geral as previsões do modelo LeT e em particular a ideia que as tendências de resposta adquiridas durante as discriminações iniciais são consistentes com a nova discriminação (transferência positiva).

No grupo GI (à direita) nota-se que, na primeira sessão, a preferência pelo verde aumentou com a duração do sinal, contrariando as contingências de reforço. Durante a segunda sessão, a preferência média não mudou de forma sistemática com a duração da amostra. Finalmente, pela última sessão, a preferência pelo verde diminuiu sistematicamente com a duração da amostra. Uma vez que os desempenhos na primeira e última sessões foram, em certo sentido, opostos, concluímos que a aprendizagem das discriminações iniciais prejudicou a nova discriminação (transferência negativa). Este resultado apoia também as previsões e interpretações do modelo LeT.

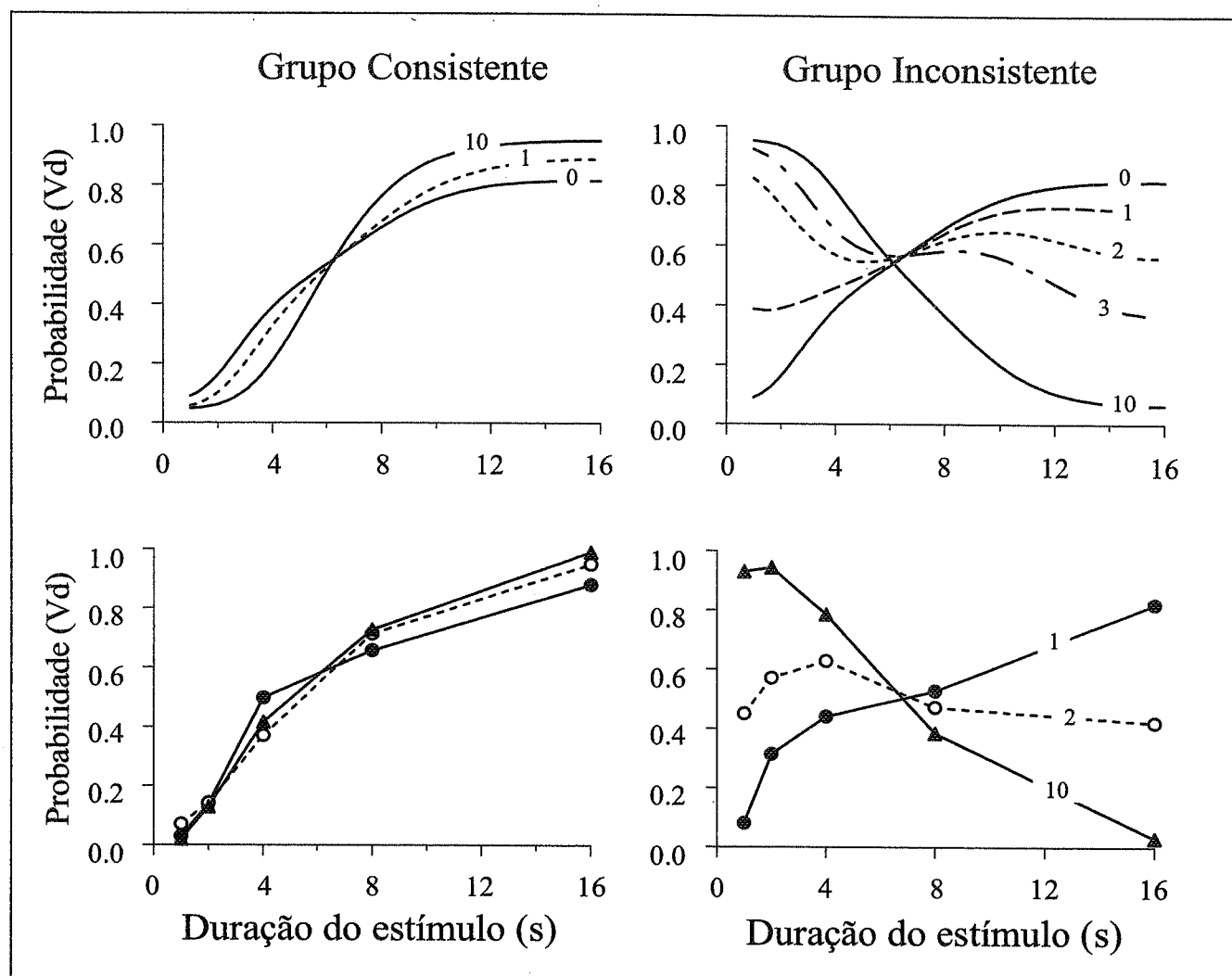


Figura 8 – Em cima: Previsões do modelo LeT para o desempenho dos Grupos Consistente e Inconsistente. As curvas indicam a probabilidade de escolher o Verde (vs. Azul) em função da duração do estímulo. A numeração das curvas diz respeito à sessão a que se referem; Em baixo: Resultados médios de ambos os grupos. As curvas indicam a probabilidade de escolher o Verde (vs. Azul) em função da duração do estímulo, nas sessões 1, 2 e 10.

Resumindo, todos os pombos do GC obtiveram um bom desempenho após a primeira sessão, enquanto que os pombos do GI precisaram de duas a cinco sessões de forma a conseguirem um desempenho semelhante ao do GC. Não obstante as contingências de reforço opostas, os dois grupos demonstraram padrões de resposta semelhantes durante a primeira sessão da nova discriminação (a preferência pela verde aumentou com a duração do sinal), o que apoia consideravelmente o modelo LeT. Pelo contrário, as previsões do SET de que os dois grupos deveriam obter desempenhos semelhantes ao longo das sessões foram fortemente contrariadas.

Estudo 4. Nos três estudos anteriores testámos as previsões do LeT e do SET através de alterações de determinados parâmetros das fases de teste tais como a duração do estímulo mais longo ou das contingências de reforço associadas a novos pares de teclas de escolha. No entanto, pouco se sabia sobre a generalidade dos resultados obtidos, uma vez que algumas características do procedimento básico de dupla bissecção se mantiveram inalteradas naqueles estudos. Uma dessas características é o facto de, após o início da fase de pré-teste, na qual os ensaios Curtos e Longos são integrados na mesma sessão, os pombos não poderem saber, no início de cada ensaio, qual será a duração relativa da amostra (Curta ou Longa) ou que estímulos de comparação (Vermelho vs. Verde ou Azul vs. Amarelo) irão aparecer após a amostra. Terá este facto alguma influência na aprendizagem que o pombo faz na tarefa de dupla bissecção? Será que as previsões para esta tarefa se manterão no caso de ser possível aos pombos antecipar, desde o início do ensaio, a duração Curta ou Longa da amostra e as teclas de escolha? Para responder a estas perguntas e assim aferir a generalidade dos resultados anteriores, Arantes e Machado (2008) eliminaram a fase de pré-teste e passaram directamente da fase de treino com sessões separadas – umas incluindo apenas ensaios Curtos e outras incluindo apenas ensaios Longos – para a fase de teste. Ou seja, os dois tipos de ensaio nunca foram incluídos na mesma sessão. Desta forma, em qualquer fase da experiência, os pombos poderiam antecipar, a partir do primeiro ensaio de cada sessão, quer a duração relativa da amostra, quer as teclas de escolha, pois estas não variavam ao longo da sessão. Se o primeiro ensaio fosse Curto (isto é, amostra de 1 s ou 4 s seguida de escolha entre teclas vermelha e verde), toda a sessão incluiria apenas ensaios Curtos. Do mesmo modo, se o primeiro ensaio fosse Longo, toda a sessão incluiria apenas ensaios Longos.

Nesta experiência, a fase de teste incluiu duas condições distintas: nas sessões «Curtas», os ensaios de teste eram incluídos entre ensaios regulares Curtos; nas sessões «Longas», os ensaios de teste eram incluídos entre ensaios regulares Longos. As durações da amostra nos ensaios de teste eram de 1, 2, 4, 8 ou 16 s. Depois da amostra seguiam-se as escolhas entre os pares Vermelho-Amarelo e Verde-Azul.

A Figura 9 mostra a média das preferências pelo verde (painel superior) e vermelho (painel inferior) em função da duração da amostra e para os dois tipos de sessão em que se inseriam os ensaios de teste. Tal como nas duas primeiras experiências (Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005), a preferência pelo verde aumentou monotonicamente com a duração do estímulo e a preferência pelo vermelho diminuiu de forma idêntica. Os valores obtidos são também semelhantes aos anteriormente registados. Uma vez que o propósito deste estudo era examinar a generalidade dos resultados obtidos anteriormente, especialmente o efeito de contexto, os dados obtidos reforçam as interpretações do LeT para a tarefa de dupla bissecção, ao mesmo tempo que aumentam as dúvidas sobre a correcção da estrutura do SET.

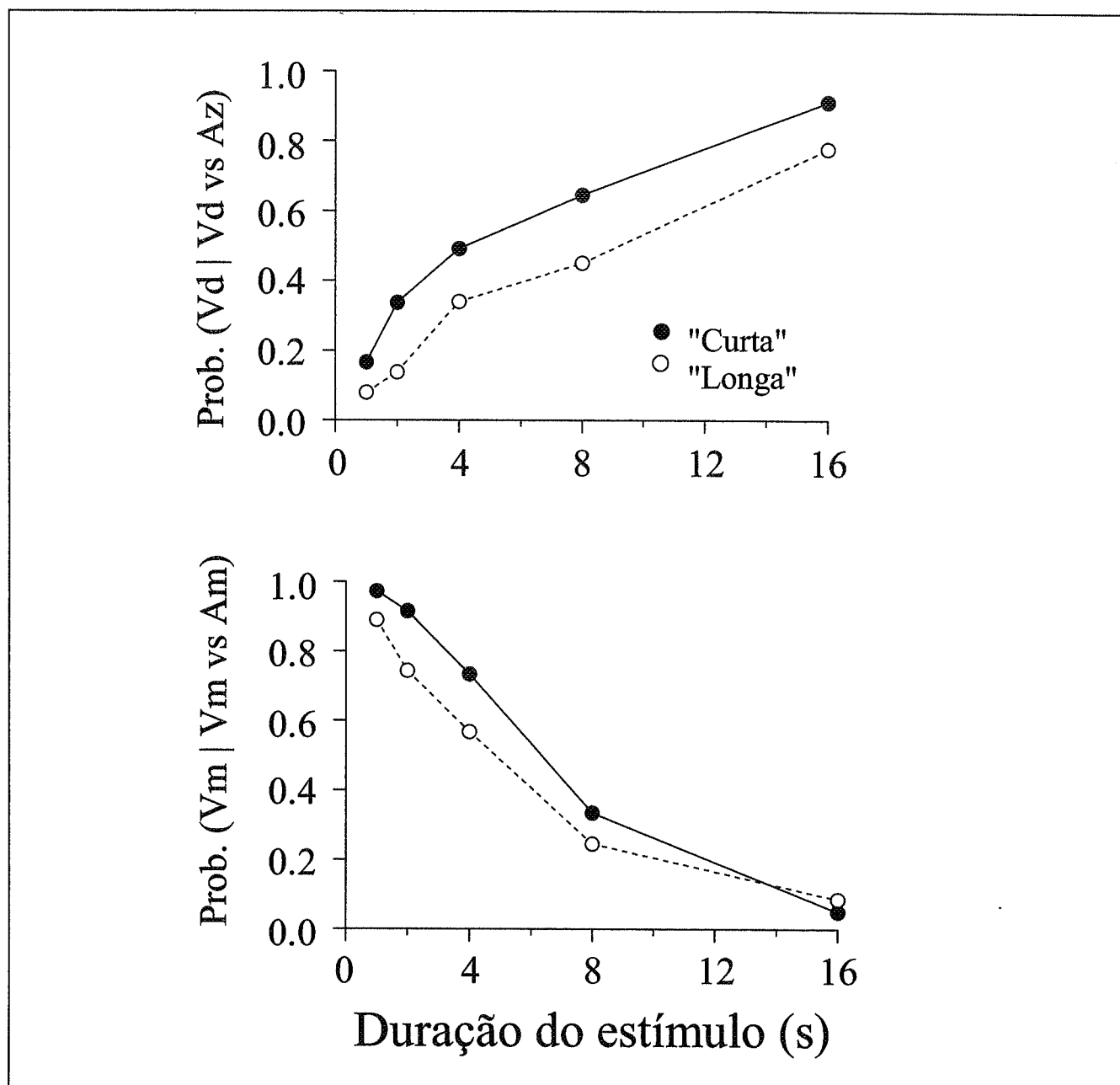


Figura 9 – Médias globais dos resultados do teste de generalização estímulo-resposta. A proporção de escolhas do Verde (vs. Azul, painel superior) e do Vermelho (vs. Amarelo; painel inferior) são representadas em função da duração do estímulo. As duas curvas em cada painel representam os resultados obtidos com as Sessões «Curtas» (pontos fechados) e «Longas» (pontos abertos).

Na Figura 9 é também possível observar diferenças significativas entre as curvas obtidas nas sessões Curtas e Longas. Em concreto, as preferências pelo verde e vermelho parecem ser maiores nos casos em que os ensaios de teste se inserem nas sessões Curtas. Para o teste Verde-Azul, a análise estatística (veja-se Arantes & Machado, 2008,) revelou efeitos significativos da duração da amostra e do tipo de sessão, mas não da interação entre os dois factores; da mesma forma, para o teste

Vermelho-Amarelo, apenas os efeitos de duração e de tipo de sessão foram significativos, enquanto que o efeito de interacção ficou próximo da significância. Nenhum dos modelos prevê este efeito do tipo de sessão na preferência dos pombos.

Estudo 5. No estudo que acabámos de resumir não se misturaram os ensaios Curtos e Longos de forma a permitir que os pombos pudessem antecipar, em cada sessão, a duração relativa dos ensaios e as respectivas teclas de escolha. No estudo seguinte, Oliveira e Machado (2008) também permitiram essa antecipação, mas com base num outro tipo de pista. O «anúncio» da duração relativa da amostra e dos estímulos de comparação fez-se ensaio a ensaio através de amostras visualmente distintas – uma barra horizontal ou uma barra vertical projectada na tecla central. Desta forma, apesar dos ensaios Curtos e Longos serem misturados na mesma sessão, a tecla central mostrava uma barra horizontal nos ensaios Curtos e uma barra vertical nos ensaios Longos (esta atribuição das duas barras aos dois tipos de ensaio foi contrabalanceada, mas para facilitar a apresentação pressupomos que todos os pombos tiveram a mesma atribuição). Podemos dizer que as pistas que permitiam a antecipação eram globais no estudo anterior (sessões Curtas vs. Longas) e locais no estudo presente (barras Horizontal vs. Vertical).

Para além da antecipação por pistas locais, pretendíamos também verificar se os resultados anteriores seriam obtidos com novas durações de estímulo. Assim, as durações passaram a ser de 1.5 e 6 segundos para os ensaios Curtos, e de 6 e 24 segundos para os ensaios Longos. Durante os ensaios de teste, a amostra era uma barra horizontal ou vertical, com uma duração de 1.5, 3, 6, 12, ou 24 segundos, e as escolhas eram entre os pares Vermelho-Amarelo e Verde-Azul.

Os resultados individuais obtidos com cada tipo de barra foram consistentes, pelo que apenas os resultados médios são apresentados na Figura 10. No painel superior, compara-se a preferência pelo Verde (vs. Azul) em ambos os tipos de ensaio de teste (barra vertical ou barra horizontal). O painel inferior ilustra a mesma comparação relativamente ao teste entre o vermelho e o amarelo. Dois aspectos são assinaláveis. Primeiro, o efeito de contexto previsto pelo LeT (quanto maior a duração da amostra, maior a preferência pelo verde) verifica-se em todas as condições. Segundo, parece existir um efeito da barra apenas nos ensaios Verde-Azul. Concretamente, é possível observar uma diminuição geral na preferência pelo verde nos ensaios em que a amostra era a barra associada aos ensaios Longos, ou seja, a barra que, na fase de treino, precedia as escolhas entre azul e amarelo. A análise estatística revelou sempre um forte efeito da duração; o efeito da barra foi significativo no teste Verde-Azul, mas não no teste Vermelho-Amarelo e o efeito de interacção nunca foi significativo.

Nesta experiência recorreu-se, pela primeira vez, a duas pistas visuais para sinalizar as duas discriminações de base. Para além disso, alteraram-se as durações das amostras utilizadas nas experiências anteriores. Estas variações na tarefa de dupla bissecção

estendem e fortalecem a base empírica do modelo LeT, dado que, mais uma vez, os resultados no teste entre verde e azul apoiam as previsões do LeT, mas não as do SET. No teste entre vermelho e amarelo, voltou a verificar-se o resultado previsto por ambos os modelos e que se traduz por uma diminuição monotónica na preferência pelo vermelho, com o PIS próximo da média geométrica entre as durações associadas às duas cores.

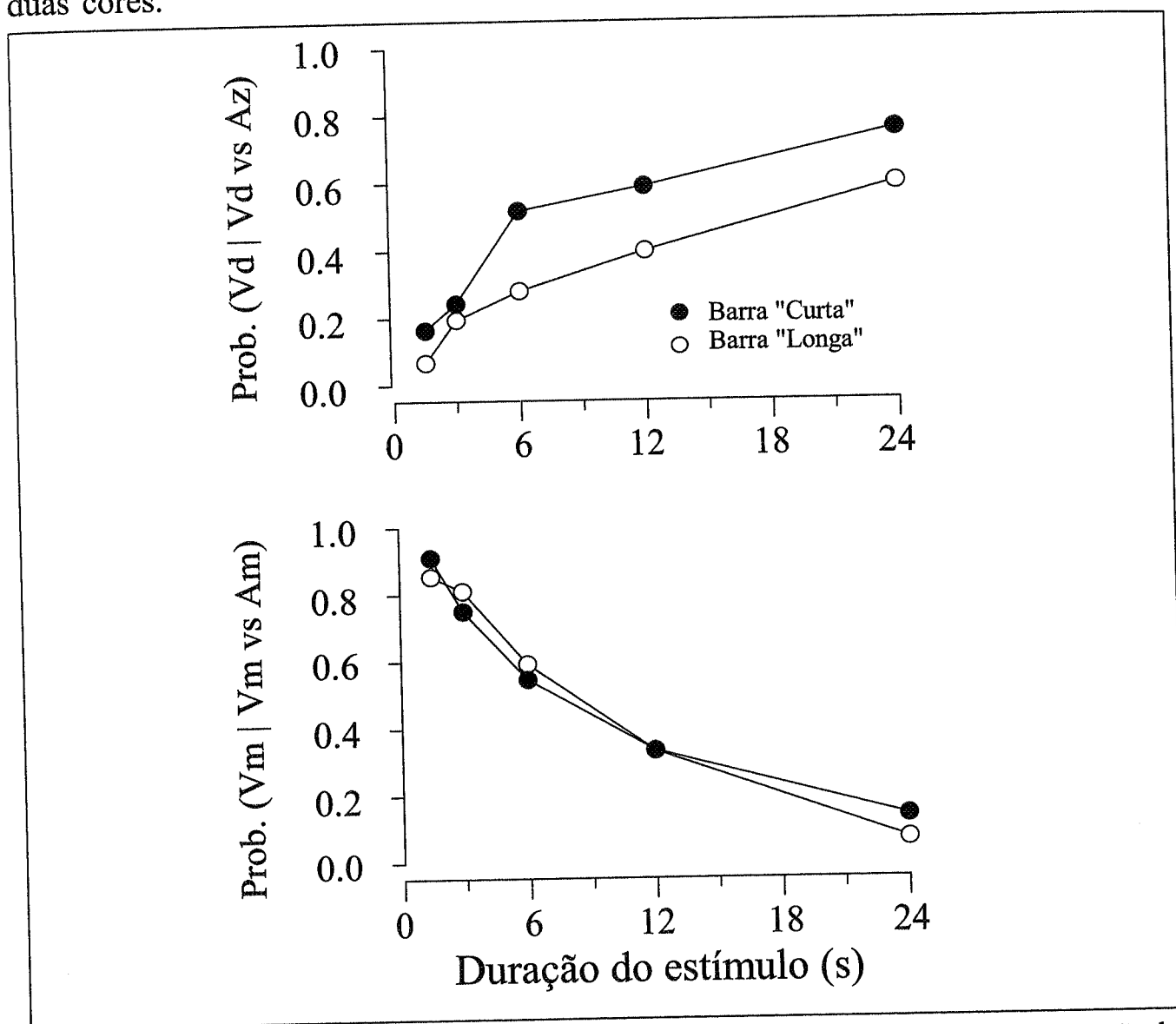


Figura 10 – Médias globais dos resultados do teste de generalização estímulo-resposta. A proporção de escolhas do Verde (vs. Azul, painel superior) e do Vermelho (vs. Amarelo; painel inferior) são representadas em função da duração do estímulo. As duas curvas em cada painel representam os resultados obtidos com as barras associadas aos ensaios Curtos (pontos fechados) e Longos (pontos abertos).

O efeito da barra notou-se apenas nos ensaios de teste entre verde e azul. Especificamente, nos ensaios em que a amostra era a barra associada com o verde durante a fase de treino, a preferência pelo verde foi semelhante à observada nos estudos anteriores (Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005). Por outro lado,

nos ensaios em que a amostra era a barra associada com o azul durante a fase de treino, a preferência pelo verde diminuiu em todas as durações (Figura 10, em cima). Este efeito da barra (pista local) é semelhante ao efeito de sessão (pista global) obtido no estudo anterior e não é previsto por nenhum dos modelos. Voltaremos a este assunto mais em baixo.

Estudo 6. No último estudo, Arantes (2008) estendeu a tarefa de dupla bissecção a uma discriminação sucessiva. O problema sob investigação consistiu em saber se o efeito de contexto obtido em discriminações temporais simultâneas também ocorre em discriminações temporais sucessivas. Desta forma, em vez de apresentar uma escolha entre duas teclas após uma determinada amostra, a autora apresentou apenas uma tecla, que em metade dos ensaios era a tecla positiva S+ (ou seja, as bicadas na tecla eram reforçadas) e na outra metade era a tecla negativa S- (as bicadas na tecla não eram reforçadas). Por exemplo, nos ensaios Curtos, uma amostra de 1 s era seguida da tecla vermelha (S+) em metade dos ensaios e da tecla verde (S-) na outra metade dos ensaios. Em ambos os casos, a tecla permanecia acesa durante 6 s e as respostas do pombo nesse período eram registadas. Quando a amostra era de 4 s, a tecla verde era o S+ e a tecla vermelha era o S-. Nos ensaios Longos, quando a amostra era de 4 s as teclas azul e amarela eram o S+ e o S-, respectivamente, sendo este papel invertido após amostras de 16 s. Depois de os animais aprenderem a tarefa, os dois tipos de ensaio eram misturados na mesma sessão, seguindo-se a fase de teste. Nas sessões de teste, a duração da amostra variou entre 1 e 16 s, sendo seguida por uma de quatro cores: vermelho, verde, azul ou amarelo.

A Figura 11 mostra os resultados obtidos no teste. No painel superior esquerdo vemos que a taxa relativa de resposta na tecla verde (ou seja, «Respostas Verde/(Respostas Verde + Respostas Azul)») aumentou com a duração da amostra. Assim, mesmo alterando o procedimento de tal forma que as discriminações passaram a ser sucessivas e não simultâneas, o resultado obtido nos estudos anteriores é reproduzido. No painel inferior esquerdo vemos que o resultado previsto por ambos os modelos foi novamente obtido, uma vez que à medida que a duração do estímulo aumenta, a preferência pelo vermelho em relação ao amarelo diminui. Nos painéis da direita nota-se uma função com a forma de U invertido no teste entre verde e amarelo, e uma função em forma de U no teste entre o vermelho e o azul. Desta forma, concluímos que os resultados obtidos em estudos anteriores com os mesmos pares de cores foram também reproduzidos (compare a Figura 11 com a Figura 6). Estes resultados estão qualitativamente de acordo com as previsões do modelo LeT, mas não com as do SET (ver Figura 3).

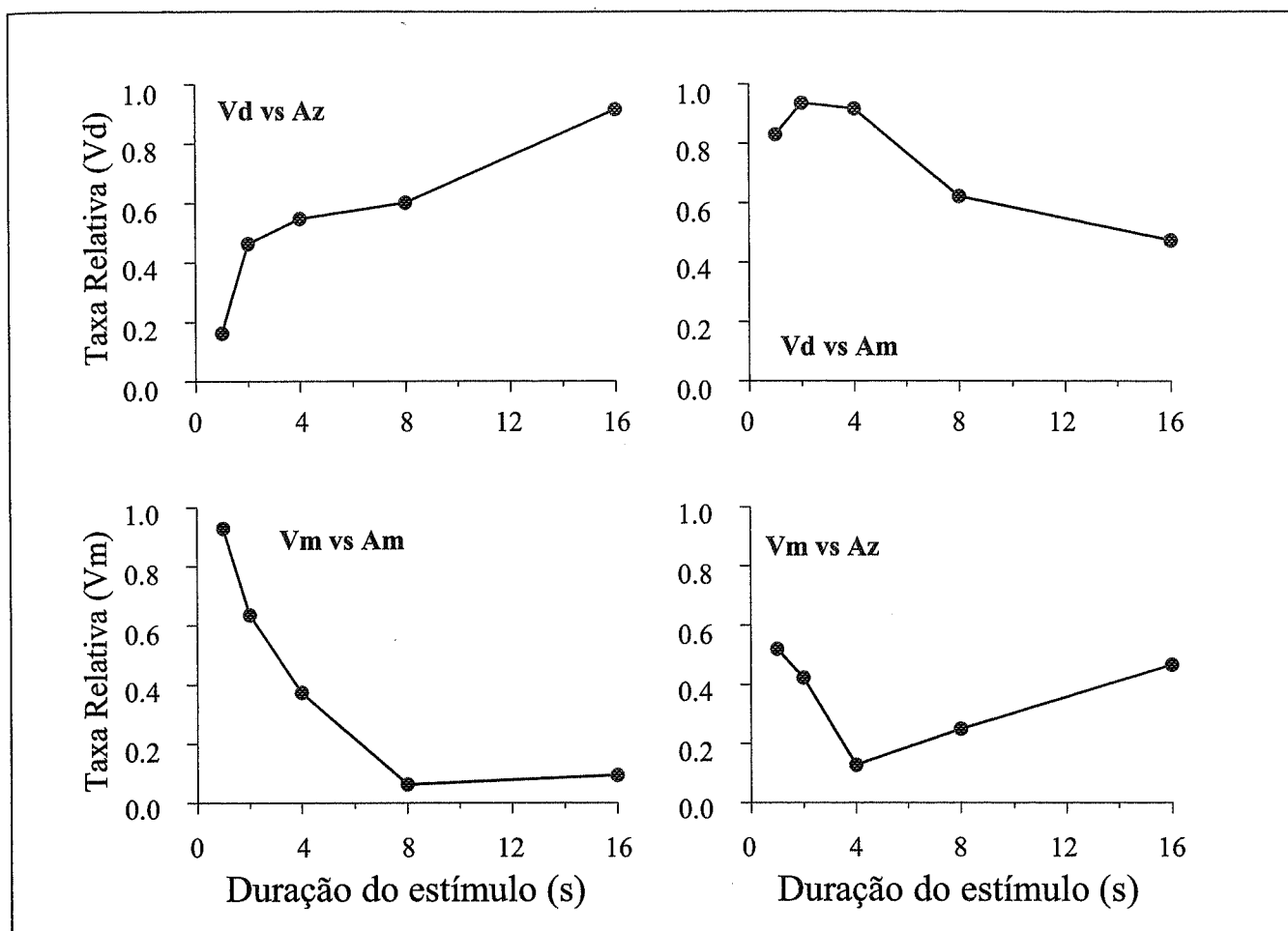


Figura 11 – Médias globais dos resultados do teste de generalização do estímulo-resposta. A proporção de escolhas do Verde (painéis superiores) e do Vermelho (painéis inferiores) são representadas em função da duração do estímulo. Cada um dos quatro painéis diz respeito a uma nova combinação de teclas de escolha.

DISCUSSÃO GERAL

O conjunto de experiências descritas neste artigo visou testar dois modelos de timing animal, o SET e o LeT, utilizando para o efeito um novo procedimento, a dupla bissecção temporal. Este procedimento consiste na aprendizagem de duas discriminações condicionais, sendo que em cada uma delas a duração de uma luz branca é a amostra e diferentes pares de cores são usadas como estímulos de comparação. Numa das discriminações, os pombos aprendem a escolher uma tecla vermelha após um sinal de 1 s e uma tecla verde após um sinal de 4 s. Na outra discriminação, aprendem a escolher uma tecla azul após um sinal de 4 s e uma tecla amarela após um sinal de 16

s (ver Figura 1). Estes dois tipos de discriminação, chamados de ensaios Curtos e Longos, são depois incluídos dentro da mesma sessão. Todos os pombos aprenderam a tarefa em todas as experiências, tendo o seu desempenho ultrapassado, em média, os 90% de respostas correctas.

Após este treino de base foram apresentados testes de generalização estímulo-resposta, nos quais amostras com durações variáveis são seguidas por escolhas entre combinações de cores diferentes das aprendidas durante o treino. O teste entre as cores verde e azul é particularmente importante, uma vez que permite separar de forma clara as previsões de ambos os modelos. De facto, as diferenças entre as previsões dos dois modelos relacionam-se com as características estruturais dos modelos e não com os valores dos parâmetros usados. Assim, o SET prevê que o animal seja indiferente quando confrontado com a escolha entre verde e azul para todas as durações do estímulo de teste, ao passo que o LeT prevê que a preferência pelo verde aumente com o aumento da duração do estímulo.

Os resultados dos seis estudos confirmaram as previsões do LeT e enfraqueceram a posição do SET como modelo dominante do *timing*. Provou-se que o efeito de contexto revelado no teste Verde-Azul é muito forte dado que foi obtido de várias formas. Para além do procedimento de base inicial (Machado & Keen, 1999), foram utilizados procedimentos em que a duração da amostra mais longa (associada ao amarelo) foi manipulada (Machado & Pata, 2005), ou em que as contingências de reforço associadas às cores verde e azul foram alteradas após o treino (Machado & Arantes, 2006). O efeito também se manteve quando o pombo podia antecipar o tipo de ensaio (Curto ou Longo) com base em pistas globais (Arantes & Machado, 2008) ou locais (Oliveira & Machado, 2008). Por último, o efeito ocorre tanto em discriminações temporais simultâneas como em discriminações temporais sucessivas (Arantes, 2008).

Podemos retirar duas conclusões principais deste conjunto de experiências. Primeiro, o procedimento de dupla bissecção permite separar claramente as previsões dos modelos SET e LeT, especialmente no que concerne ao teste Verde vs. Azul (ver Figura 12 para uma comparação dos resultados de cinco experiências). Segundo, os seis estudos apoiam consideravelmente o modelo LeT, em detrimento do modelo SET. Se no teste Vermelho-Amarelo (Arantes, 2008; Arantes & Machado, 2008; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005; Oliveira & Machado, 2008), ambos os modelos prevêem o resultado obtido, nos testes Verde-Amarelo e Vermelho-Azul (Arantes, 2008; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005), apenas o LeT consegue prever o padrão de escolhas dos pombos.

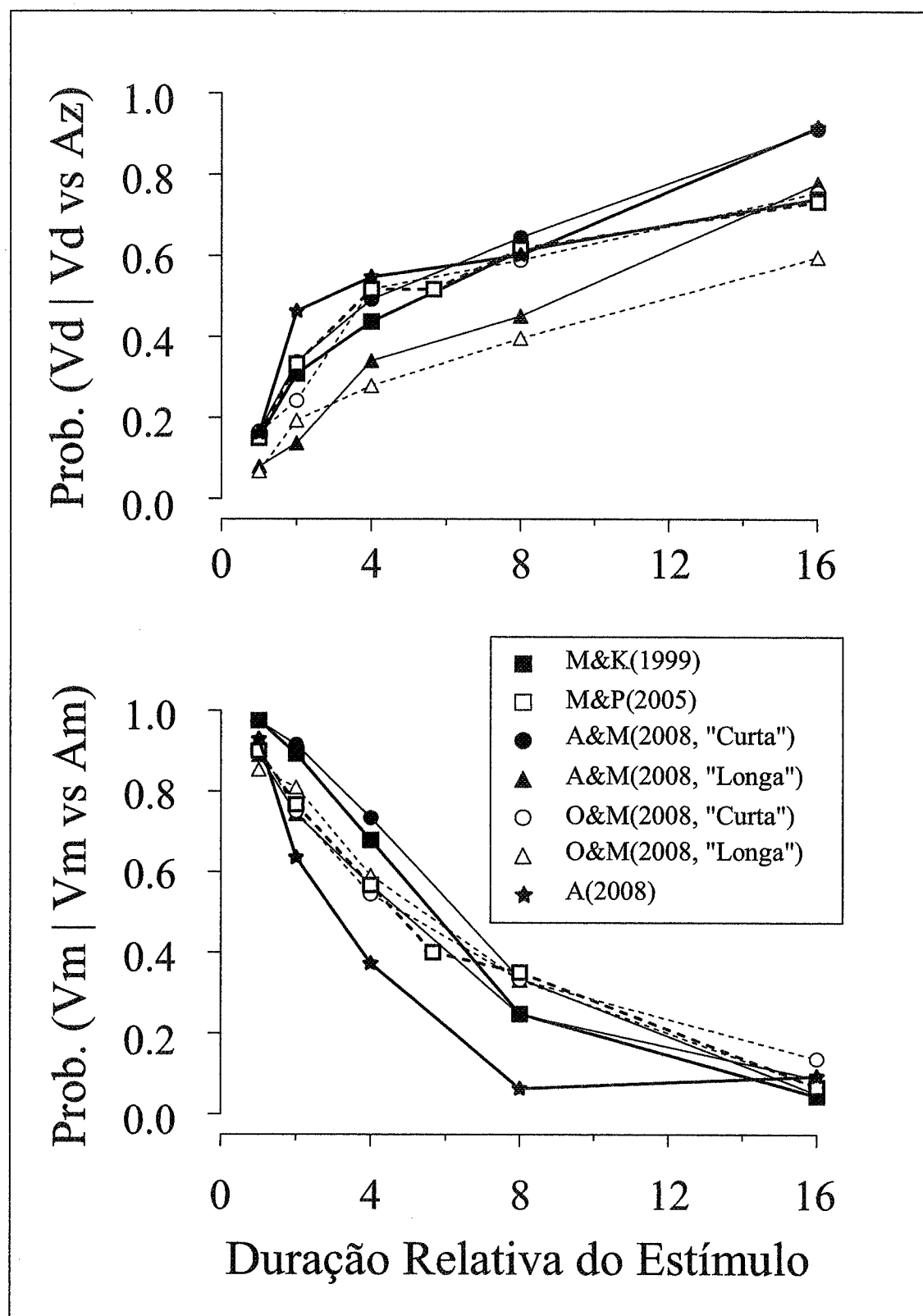


Figura 12 – Médias dos resultados do teste de generalização estímulo-resposta relativos às Experiências 1, 2, 4, 5 e 6. Os valores da proporção de escolhas do Verde (vs. Azul, painel superior) e do Vermelho (vs. Amarelo; painel inferior) foram normalizados de forma a poderem ser representados na mesma escala.

Os factores que determinam as distintas previsões dos modelos incluem, em primeiro lugar, a arquitectura ou estrutura do modelo e, em segundo lugar, os parâmetros assumidos. Se estes últimos determinam os valores específicos das funções psicométricas, os primeiros afectam a forma global destas funções. Comparar estes dois conjuntos de factores com os resultados obtidos nos seis estudos permite-nos identificar as limitações de cada modelo. Consideremos o resultado mais importante, o aumento da preferência pelo verde sobre o azul com a duração da amostra, o efeito de contexto. O SET não prevê este efeito porque assume independência entre as memórias formadas durante o treino, ou seja, os conteúdos da memória associada ao verde dependem apenas das durações associadas ao verde e não das durações associadas ao vermelho. O mesmo se passa em relação ao azul e amarelo. Esta independência entre as memórias faz com que o SET não possua qualquer mecanismo para explicar como é que as durações associadas ao vermelho e amarelo influenciam as escolhas entre o verde e o azul quando estas últimas estão associadas à mesma duração durante a fase de treino. Conclui-se desta forma que a limitação do SET é estrutural e não paramétrica (ver Machado & Guilhardi, 2000).

Pelo contrário, a estrutura do LeT permite explicar o efeito de contexto, uma vez que assume que a força das associações entre os estados comportamentais e as respostas instrumentais muda com as contingências de reforço. Na tarefa da dupla bissecção, as contingências vigentes durante os ensaios Curtos fazem com que a ligação entre os estados comportamentais iniciais e a resposta Verde seja fraca e que a ligação entre os estados comportamentais intermédios e a resposta Verde seja forte. As contingências vigentes durante os ensaios Longos fazem com que a resposta Azul fique fortemente associada aos estados intermédios e debilmente associada aos estados finais. Estas características estruturais permitem ao LeT prever que a força das respostas ao verde e ao azul dependerá não só da duração da amostra, como também das durações associadas ao vermelho e ao amarelo durante o treino.

São estas características estruturais que permitem de igual modo explicar o fracasso do SET e o sucesso do LeT na previsão dos resultados obtidos com os estímulos de comparação Vermelho-Azul e Verde-Amarelo. Porém, não obstante o facto das formas das curvas serem consistentes com o LeT, os seus valores específicos nem sempre estiveram de acordo com o modelo (p. ex., Figura 7). Estas discrepâncias sugerem regras de aprendizagem mais complexas do que o simples fortalecimento e enfraquecimento das ligações associativas (ver Machado & Pata, 2005 e também Machado & Guilhardi, 2000).

Uma outra previsão do LeT, não discutida até agora, é que nos dois pares de curvas, Vermelho-Amarelo e Verde-Azul por um lado, e Vermelho-Azul e Verde-Amarelo por outro lado, as duas curvas deveriam ser simétricas em relação à recta horizontal $y = .5$. A Figura 13 permite avaliar esta previsão com os dados obtidos por Machado e Keen (1999) e Machado e Pata (2005). Uma das curvas de cada par

(Verde-Azul e Verde-Amarelo) foi transformada de acordo com a equação «novo valor = 1 – valor original». Se a previsão de simetria estivesse correcta, as duas curvas em cada painel deveriam sobrepor-se. Apesar de algumas discrepâncias, sobretudo após os estímulos de 16 s, os dados não parecem refutar a hipótese de simetria.

Algumas explicações alternativas do resultado básico da tarefa de dupla bissecção apelam aos conceitos de desvio do pico (p. ex., Purtle, 1973) e de comportamentos mediadores (p. ex., Richelle & Lejeune, 1980). Para compreender como o desvio do pico pode explicar o efeito de contexto, consideremos de novo os resultados obtidos por Machado e Pata (2005). No teste Verde-Azul, a preferência pelo verde aumentou monotonicamente com a duração do estímulo e este aumento foi mais rápido no Grupo 8 do que no Grupo 16. Para derivar este resultado com base no fenómeno do desvio do pico no domínio temporal, raciocinámos da seguinte maneira. Bicar nas teclas verde e azul é um operante controlado pela duração da amostra. Este controlo atinge o seu máximo aos 4 s (o estímulo discriminativo, S^D) e, como em qualquer outro gradiente de generalização, diminui à medida que a duração do sinal se afasta do S^D . No Grupo 8, a amostra de 8 s (associada com a tecla amarela) pode ser visto como um S^A para a resposta de bicar na tecla azul. Se assumirmos que o efeito do S^A é desviar o pico do gradiente de generalização na direcção oposta ao S^A , então o gradiente para a resposta de bicar na tecla azul teria o seu máximo abaixo de 4 s. Da mesma forma, esperar-se-ia que o pico do gradiente de generalização para o bicar na tecla verde se desviasse para durações mais longas do que 4 s pelo facto do seu S^A ser ao 1 s. O efeito conjunto destes dois desvios seria colocar o gradiente para o bicar no azul à esquerda do gradiente para o bicar no verde, o que poderia explicar por que razão a preferência pelo verde em relação ao azul aumenta com a duração da amostra. Para além disso, se a magnitude do desvio do pico depende da distância entre o S^A e o S^D , então o pico do gradiente de generalização associado ao azul dar-se-ia mais cedo no Grupo 8 ($S^A - S^D = 4$ s) do que no Grupo 16 ($S^A - S^D = 12$ s). Esta diferença nas distâncias entre o S^A e o S^D pode explicar por que razão a preferência pelo verde aumentou mais depressa no Grupo 8 do que no Grupo 16.

Uma outra hipótese relaciona-se com a existência de comportamentos mediadores ou colaterais, que poderão estar implicados tanto na aquisição, como na manutenção e optimização do desempenho na tarefa (p. ex., Fetterman, Killeen, & Hall, 1998; Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005). De facto, tal como proposto por Killeen e Fetterman (1988), entre outros, estes comportamentos funcionariam como uma espécie de contador, permitindo aos sujeitos localizarem-se no tempo a partir da classe de comportamentos que estivessem a exhibir em cada momento (Killeen & Fetterman, 1988; Machado, 1997; ver também Richelle & Lejeune, 1980).

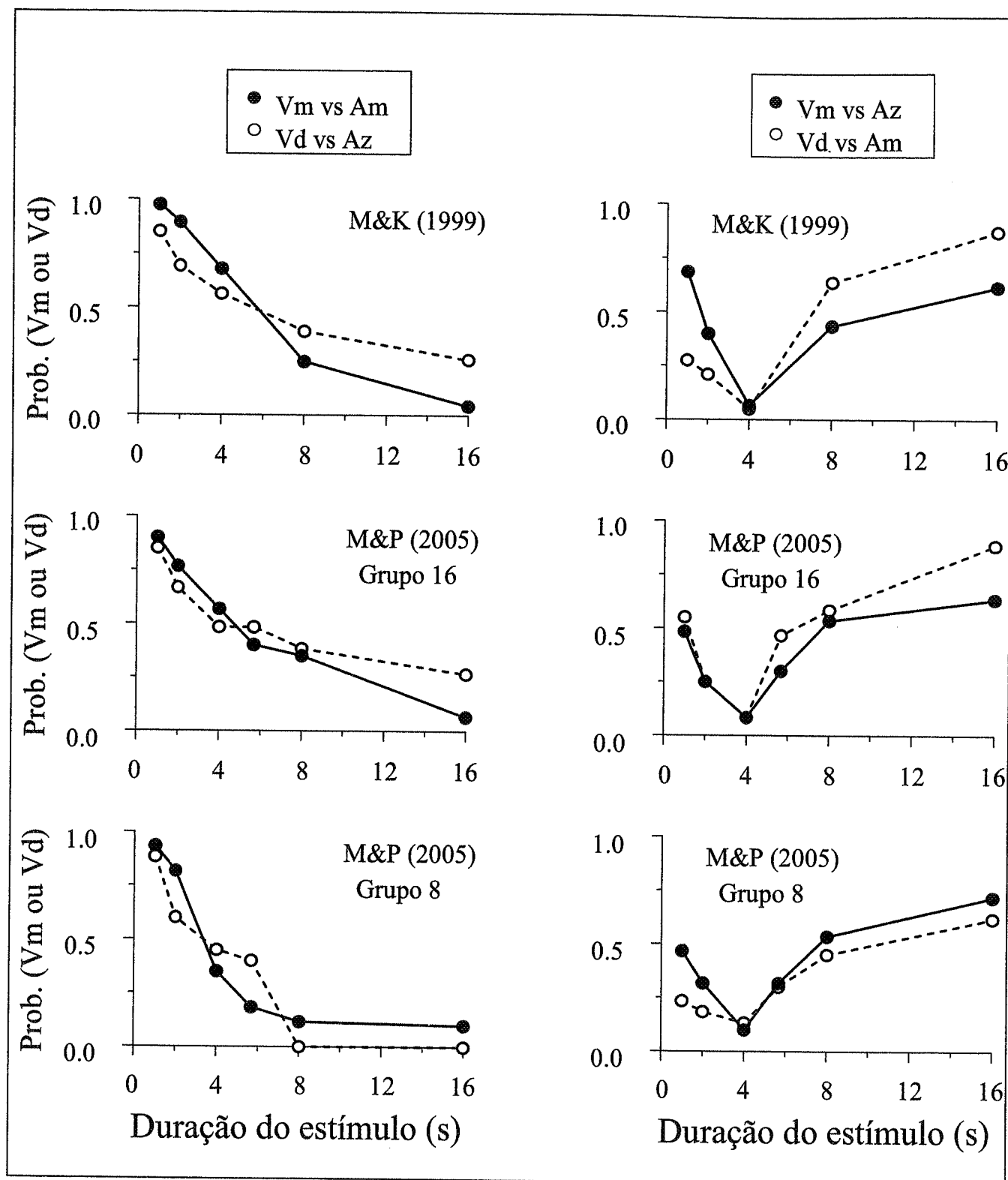


Figura 13 – As curvas relativas aos testes Verde-Azul e Verde-Amarelo foram transformadas através da equação «novo valor = 1 – valor anterior», de forma a poder verificar directamente a previsão do Le T relativa à simetria entre os dois pares de funções relativamente ao eixo $y=.5$.

Observações sistemáticas dos pombos mostraram que estes adquirem padrões comportamentais durante a fase de treino da tarefa de dupla bissecção e os mantêm ao longo da experiência (Machado & Arantes, 2006; Machado & Keen, 1999; Machado & Pata, 2005). O padrão mais frequente é o seguinte: quando o ensaio começa, os pombos aproximam-se da tecla central. Se o ensaio for de 1 s, o pombo bica na tecla vermelha; caso contrário, cerca de 2 s após o início do ensaio, o sujeito muda de comportamento (p. ex., começa a bicar a tecla central ou a dirigir bicadas nessa direcção sem acertar na tecla – «*air pecking*»). Se o ensaio for de 4 s, os pombos escolhem a tecla verde ou azul, consoante se trate de um ensaio Curto ou Longo. Se, pelo contrário, o ensaio for de 16 s, os pombos mudam de comportamento por volta dos 6 a 8 s, passando então a orientar-se para a luz de iluminação geral ou a mover-se na caixa, por exemplo; no final do ensaio escolhem a tecla amarela.

Embora esta cadeia de comportamentos seja bastante estável para vários pombos, torna-se difícil saber se desempenha um papel na aprendizagem das discriminações temporais ou se apenas facilita o desempenho em estado estável, mediando a passagem do tempo e as escolhas do sujeito. Alguns resultados empíricos sugerem que os comportamentos mediadores possuem estas duas características. Em primeiro lugar, notou-se que os indivíduos com um padrão comportamental mais consistente eram também aqueles que obtinham melhores desempenhos. Segundo, notou-se que diferentes pontos de mudança entre os comportamentos da cadeia (p. ex., pombos que mudavam do segundo para o terceiro comportamento apenas entre os 10 e os 12 segundos) se reflectiam em funções psicométricas com diferentes PIS, por exemplo (Machado & Keen, 1999; veja-se também Machado & Arantes, 2006).

Por último, regressemos ao efeito das pistas que permitiam ao animal antecipar o tipo de ensaio em curso, pistas globais (tipo de sessão) em Arantes e Machado (2008) e pistas locais (tipo de barra) em Oliveira e Machado (2008). Uma interpretação possível do efeito das pistas pressupõe que se formam associações entre elas e os estímulos de comparação. Por exemplo, como nas sessões Curtas ou na presença da barra horizontal os pombos obtiveram comida apenas na presença das teclas vermelha e verde, os testes na presença destas pistas enviesariam o animal na direcção destas duas teclas. Assim se explicaria a maior preferência pelo verde quando os ensaios de teste Verde-Azul foram inseridos em sessões Curtas ou antecidos pela barra horizontal, por exemplo.

Os resultados (Figuras 9 e 10) revelam que, de facto, a preferência dos pombos pelo verde em detrimento do azul é maior na presença da barra horizontal ou durante a sessão Curta. No caso do teste Vermelho-Amarelo, nota-se um efeito de sessão coerente com a hipótese, se bem que menos pronunciado, mas não se obteve qualquer efeito do tipo de barra. No entanto, esta assimetria nos efeitos encontrados poderá ser

explicada assumindo que o efeito associativo da pista, sendo igual para ambas as cores em cada tipo de sessão de treino, poderia tornar-se mais forte em discriminações mais difíceis (p. ex., Verde-Azul) do que em discriminações mais fáceis (Vermelho-Amarelo), nas quais o desempenho dos sujeitos é bastante superior (veja-se a maior inclinação da função psicométrica). Futuras investigações deverão testar directamente esta hipótese.

REFERÊNCIAS

- Arantes, J. (2008). Comparison of Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time (LeT) model in a successive temporal bisection task. *Behavioural Processes*, 78, 269–278.
- 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.
- Bizo, L. A., & White, K. G. (1994). The behavioral theory of timing: Reinforcer rate determines pacemaker rate. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 61, 19–33.
- Bizo, L. A., & White, K. G. (1995a). Biasing the pacemaker in the behavioral theory of timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 64, 225–235.
- Bizo, L. A., & White, K. G. (1995b). Reinforcement context and pacemaker rate in the behavioral theory of timing. *Animal Learning & Behavior*, 23, 376–382.
- Catania, A. C. (1970). Reinforcement schedules and the psychophysical judgments: a study of some temporal properties of behavior. In: Schoenfeld, W.N. (Ed.), *The theory of reinforcement schedules* (pp. 1–42). Appleton-Century-Crofts, New York.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavioural Processes*, 3, 216–228.
- Church, R. M., & Gibbon, J. (1982). Temporal generalization. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8, 165–186.
- Fetterman, J. G., & Killeen, P. R. (1991). Adjusting the pacemaker. *Learning and Motivation*, 22, 226–252.
- Fetterman, J. G., Killeen, P. R., & Hall, S. (1998). Watching the clock. *Behavioural Processes*, 44, 211–224.
- Gallistel, C. R. (1990). *The organization of learning*. Cambridge, MA: Bradford Books/MIT Press.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84, 279–325.
- Gibbon, J. (1981). On the form and location of the psychometric bisection function for time. *Journal of Mathematical Psychology*, 24, 58–87.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing theory. *Learning and Motivation*, 22, 3–38.
- Killeen, P., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95, 274–285.
- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1993). The behavioral theory of timing: Transition analyses. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 59, 411–422.
- 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., & Guilhardi, P. (2000). Shifts in the psychometric function and their implications for models of timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 74, 25–54.

- 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., & Pata, P. (2005). Testing the Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning to Time model (LeT) in a double bisection task. *Learning and Behavior*, 33, 111–122.
- Morgan, L., Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1993). Changing rates of reinforcement perturbs the flow of time. *Behavioural Processes*, 30, 259–272.
- Oliveira, L., & Machado, A. (2008). The effect of sample duration and cue on a double temporal discrimination. *Learning and Motivation*, 39, 71–94.
- Platt, J. R., & Davis, E. R. (1983). Bisection of temporal intervals by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavioural Processes*, 9, 160–170.
- Purtle, R. B. (1973). Peak shift: A review. *Psychological Bulletin*, 80, 408–421.
- Richelle, M., & Lejeune, H. (1980). *Time in Animal Behavior*. Pergamon Press, Oxford, UK.
- Roberts, W. A. (1998). *Principles of animal cognition*. New York: McGraw-Hill.
- Shettleworth, S. J. (1998). *Cognition, evolution, and behavior*. Oxford University Press, NY.
- Staddon, J. E. R. (1983). *Adaptive behavior and learning*. New York: Cambridge University Press.
- Stubbs, D. A., (1968). The discrimination of stimulus duration by pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 11, 223–238.

RESUMO

Em seis experiências o procedimento da dupla bissecção temporal foi usado para testar as previsões de dois modelos de regulação temporal ou «*timing*», a *Scalar Expectancy Theory* (SET) e o modelo *Learning-to-Time* (LeT). Neste procedimento, pombos aprendem duas discriminações condicionais. Na primeira, aprendem a bicar uma tecla vermelha após amostras com duração de 1 s e uma tecla verde após amostras com duração de 4 s. Na segunda, aprendem a bicar uma tecla azul após amostras com duração de 4 s e uma tecla amarela após amostras com duração de 16 s. Posteriormente, os pombos são testados com amostras de durações de 1 a 16 s e com novos pares de teclas. De fundamental importância é o teste com o novo par de teclas verde e azul, já que ambas foram associadas à mesma duração de 4 s. Enquanto o SET prevê que a preferência pelo Verde não varie com a duração da amostra, o LeT prevê que essa preferência aumente – um efeito de contexto. Ao longo das experiências, o procedimento de base foi alterado a fim de testar de maneiras diferentes as previsões dos modelos e de examinar a generalidade dos resultados obtidos. Na maioria dos casos, os resultados estiveram de acordo com o LeT, mas não com o SET. As discrepâncias entre os resultados e as previsões do SET expõem falhas estruturais do modelo, nomeadamente o pressuposto que as representações dos intervalos de tempo são independentes do contexto.

Palavras-chave: Discriminação temporal, dupla bissecção temporal, modelo «*Learning-to-Time*», *Scalar Expectancy Theory*, «*timing*», pombos.

ABSTRACT

Throughout six experiments, a double temporal bisection procedure was used to test the predictions of Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time (LeT) model. In this procedure, pigeons learn two conditional discriminations. In the first, they learn to choose a Red key after 1-s samples and a Green key after 4-s samples. In the second, they learn to choose a Blue key after 4-s samples and a Yellow key

after 16-s samples. Afterwards, the pigeons are tested with intermediate samples as well as with new pairings of key colors. Of fundamental importance is the test with the new pair of keys Green and Blue, both associated with the same sample duration of 4 s. Whereas SET predicts that preference for Green will not vary with sample duration, LeT predicts that preference for Green will increase with sample duration – a context effect. Throughout the experiments, this basic procedure was changed in various ways to test the models' predictions and to examine the generality of the findings. On most studies, the results were consistent with LeT, but not with SET. The mismatches between the data and SET's predictions reveal structural inadequacies of the model, in particular its assumption that representations of time intervals are context independent.

Key words: Double temporal bisection, Learning-to-Time model, Scalar Expectancy Theory, temporal discrimination, timing, pigeons.