



Universidade do Minho
Escola de Psicologia

Andreia Manuela Pinto Coelho da Costa

**Escalas psicométricas e propriedade
escalar na percepção de velocidade
em pombos**



Universidade do Minho

Escola de Psicologia

Andreia Manuela Pinto Coelho da Costa

**Escalas psicométricas e propriedade
escalar na percepção de velocidade
em pombos**

Dissertação de Mestrado
Mestrado Integrado em Psicologia
Área de Especialização em Psicologia Experimental
e suas Aplicações

Trabalho realizado sob a orientação do
Professor Doutor Armando Machado

Outubro de 2011

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO PARCIAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura: _____

Escalas psicométricas e propriedade escalar na percepção de velocidade em pombos

RESUMO:

O presente estudo enquadra-se na área de investigação da percepção de velocidade. Usando uma tarefa de discriminação simultânea, em que os estímulos eram apresentados num paradigma de escolha forçada com duas alternativas, estudaram-se as escalas psicométricas e a propriedade escalar na percepção de velocidade em quatro pombos. Na primeira experiência, os sujeitos foram treinados a discriminar duas velocidades, 0.2cm/seg vs. 5cm/seg. Numa fase de teste, apresentaram-se aos pombos pares de estímulos, em que um dos estímulos movia-se sempre a 5cm/seg e o outro movia-se a uma velocidade intermédia às velocidades de treino, de modo a obter uma função psicométrica. As funções psicométricas obtidas revelaram pontos de bissecção que vão de encontro aos resultados obtidos em estudos anteriores. Na segunda experiência, usando as mesmas velocidades que na discriminação da experiência 1 mas apresentando estímulos diferentes, estudámos a escala da velocidade e testámos as previsões dos modelos linear e logarítmico. Os dados obtidos indicam que a velocidade é representada linearmente. Na terceira experiência, usando velocidades com o dobro do valor das usadas nas experiências anteriores, comparámos as funções psicométricas obtidas nas experiências 2 e 3 de modo a testar se a percepção de velocidade em pombos obedece à propriedade escalar. As análises conduzidas sugerem que a propriedade escalar não se aplica à percepção de velocidade em pombos. No entanto, conclui-se que os valores de velocidade usados poderão ser demasiado altos e que, para se poderem tirar conclusões mais sólidas, um estudo com valores de velocidade inferiores seria necessário.

Psychometric scales and scalar property in velocity perception with pigeons

ABSTRACT:

The present study is concerned with the perception of velocity by pigeons. Using a simultaneous discrimination task, where stimuli were presented in a two-alternative forced choice paradigm, we studied the psychometric scales as well as the scalar property of velocity perception in four pigeons. In the first experiment, the subjects learned to discriminate two velocities, 0.2cm/sec vs. 5cm/sec. In a test phase, the pigeons were presented with pairs of stimuli in which one of the stimuli was always moving at 5cm/sec, and the other one at an intermediate velocity between the training velocities, in order to obtain a psychometric function. The psychometric functions obtained revealed bisection points at values consistent with previous studies. In a second experiment, using the same velocities used for the experiment 1 but presenting different stimuli, we studied the velocity scale and tested the predictions of linear and logarithmic models. The data obtained revealed that velocity is encoded linearly. In the third experiment, using velocities twice as big as the ones used in the other two experiments, we compared the psychometric functions obtained for experiments 2 and 3 in order to test if velocity perception obeys the scalar property. The analysis suggests that the scalar property does not apply to velocity perception in pigeons. However, we concluded that the velocity range used may have been too high. In order to draw stronger conclusions, a study using lower velocities should be conducted.

Índice

I – Introdução	6
1. Percepção de velocidade	6
2. Diferentes perspectivas da percepção de velocidade	7
3. Psicofísica e função psicométrica	9
a. Características da função psicométrica	9
b. Função psicométrica da percepção de velocidade	10
4. Escalas psicofísicas e propriedade escalar	11
a. Características escalares da percepção	11
b. Escalas de velocidade	13
II – Experiências	15
1. Experiência 1	15
2. Experiência 2	20
3. Experiência 3	27
III – Referências	33

I - Introdução

1. Percepção de velocidade

A percepção de movimento é uma das características mais importantes do sistema visual. Sem a capacidade de inferir a velocidade a que se movem e a direção que tomam os elementos que nos rodeiam, a deslocação no ambiente ou mesmo a interação com objectos e pessoas tornar-se-ia bastante complicada. Durante muito tempo permaneceu a dúvida sobre se a percepção visual do movimento se qualificaria como um sentido fundamental ou se representaria um processo cognitivo elementar (Nakayama, 1985). Hoje em dia aceita-se que a percepção de movimento é na verdade uma dimensão fundamental do sistema visual biológico constituindo-se como uma tarefa complexa que exige processamentos contraditórios de integração e segregação.

A importância da percepção de movimento é evidente num estudo de caso de uma paciente que, após lesões bilaterais da região parieto-occipital, passou a sofrer de cegueira de movimento (Zihl, Cramon & Mai, 1983). Após a lesão, a visão da paciente era normal de acordo com os testes de visão padronizados. No entanto, em testes que exigissem percepção de movimento, a paciente demonstrava dificuldade em perceber a deslocação dos objectos: quando estes se moviam eram vistos no local de partida e depois diretamente no local de chegada, sem nenhuma ou pouca intervenção de movimento. Para além do seu claro défice em processar movimento contínuo, a paciente era também insensível a estímulos que normalmente provocam movimento aparente clássico (sensação de ver movimento quando, na verdade, nada se move no ambiente; como quando duas luzes são apagadas e acendidas à vez numa sucessão rápida). Estas dificuldades perceptivas refletiam-se numa extrema dificuldade de auto-locomção, assim como na execução de tarefas consideradas rotineiras no quotidiano de qualquer pessoa. Atravessar a estrada tornou-se assustador porque um carro que num dado momento parecia distante, no momento seguinte estava perto; encher uma taça de café sem transbordar tornou-se bastante difícil. Não ter visão de movimento pode também ter consequências a nível social. A paciente descrevia situações em que estava a falar com alguém e em que uma terceira pessoa se aproximava sem que ela se apercebesse e, de repente, via-a mesmo ao pé de si. A simples conversação com as pessoas ficou comprometida pela incapacidade em perceber expressões faciais.

A capacidade de percepção do movimento é fundamental não apenas para os humanos como também para outras espécies. Vários animais não conseguem ver cores ou não têm visão binocular, ou ambas, mas não se encontra documentado nenhum caso em que o animal não tenha mecanismos de processamento de movimento. Para que os animais possam realizar uma ampla gama de tarefas de detecção, reconhecimento e navegação, os sinais visuais motores são cruciais (Meso & Zanker, 2009). Para todos os animais, incluindo os humanos, que vivem e se movem num ambiente que muda rapidamente e que está povoado por objectos e seres em constante movimento, a percepção do mesmo tem uma grande importância para a sua sobrevivência. Uma outra função muito importante do processamento de movimento é a segmentação da imagem, factor

fundamental para quebrar o efeito de camuflagem. Pontos que se movem à mesma velocidade e na mesma direção são percebidos como uma entidade coerente que se distingue do fundo e de outros objectos. Se por um lado o movimento parece envolver uma fase inicial de reconhecimento de um padrão (o mesmo padrão deve estar localizado primeiro num sítio e depois noutra), por outro lado o movimento parece invocar uma experiência perceptiva única, diferente da percepção de um padrão ou forma (Sperling & Lu, 1998). Nakayama (1985) identifica no total sete utilidades do processamento de movimento: codificação de informação em três dimensões (3D), cálculo do tempo para colisão, segmentação da imagem, propriocepção e capacidade de manter a postura, dirigir os movimentos dos olhos, identificar padrões e perceber objectos em movimento real.

No que toca ao processamento da percepção de movimento, podemos descrever três formas de projectar uma imagem na retina: um objecto move-se e o sujeito mantém-se imóvel; um objecto move-se e o sujeito segue o objecto com os olhos; o sujeito move-se através de um ambiente imóvel (Goldstein, 2007). Dittrich (2001) descreve mais duas situações em que é formada uma sensação de movimento na retina: o sujeito move apenas a cabeça relativamente às outras partes do corpo; o sujeito move apenas os olhos relativamente à cabeça. Obviamente, duas ou mais destas situações acima descritas podem acontecer ao mesmo tempo e cancelarem-se de forma que nenhum movimento seja detectado pela retina.

2. Diferentes perspectivas da percepção de velocidade

Devido à complexidade e importância da percepção de movimento, esta tem sido alvo de vários estudos, tendo sido desenvolvidas várias teorias. Desde o início do estudo da percepção de movimento, os investigadores classificaram o movimento segundo diferentes tipologias. A Gestalt usava letras do alfabeto para definir os vários fenómenos de movimento (ex: movimento phi, movimento beta), outros dividiram a percepção de movimento entre aparente ou real, de primeira ou de segunda ordem (Cavanagh & Mather, 1989); e ainda outros estudaram se o movimento é de curto ou longo alcance (Anstis, 1980; Braddick, 1980). O estudo da percepção de movimento começou no século XIX com Exner (1875). Este produziu uma faísca num local, x_1 , seguida de um pequeno intervalo de tempo, Δt , e de uma faísca num local adjacente, x_2 . Exner observou que várias distâncias entre as duas faíscas e vários intervalos evocavam a percepção de movimento nos observadores, o que chamamos de movimento aparente (Sperling, 2001). Por outras palavras, o movimento “aparente” ocorre quando dois estímulos imóveis são apresentados um depois do outro em locais diferentes provocando a percepção de movimento entre esses estímulos. Estas observações, a que Wertheimer (1912) chamou de movimento *phi*, tornaram-se um dos princípios da psicologia da Gestalt. A interpretação do movimento *phi* teve um significado particular porque sugeria que um conjunto de imagens imóveis apresentadas sucessivamente era o equivalente a um estímulo de movimento “puro”, imitando assim a codificação cerebral do movimento real (Nakayama, 1985). Apesar de durante anos se ter distinguido o movimento aparente do movimento real, que ocorre quando um objecto atravessa o campo visual de um observador, investigações mais recentes têm demonstrado que na base destes processos poderão estar mecanismos semelhantes. Ambos

activam as mesmas áreas cerebrais (Stevens et al., 2000) e derivam do mesmo processo electrofisiológico básico (Aarons, 1964; Siegel, 1971). Podemos ainda distinguir entre movimento induzido, que é uma ilusão que ocorre quando o movimento de um objecto induz a percepção de movimento noutra; e pós-efeito de movimento, que ocorre quando, após observar um estímulo em movimento durante 30 a 60 segundos, se vê o movimento numa direção oposta (Goldstein, 2007).

Existem dois factores que afectam a percepção de movimento: estímulo e processo do movimento (Cavanagh, 1991). O factor estímulo pode ser de primeira ou de segunda ordem. Os factores de primeira ordem incluem a luminância ou cor e podem ser definidos num único ponto. Os factores de segunda ordem requerem dois pontos afastados no espaço no caso da percepção de textura; dois pontos separados pelos olhos para a disparidade binocular; ou dois pontos separados no espaço e no tempo para a percepção de movimento. Para além da classe de movimento de primeira e segunda ordem, Lu e Sperling (1995) introduziram uma outra classe, a de terceira ordem. Enquanto os movimentos de primeira e segunda ordem se distinguem apenas por características físicas claramente definidas, o movimento de terceira ordem resulta de “atributos psicológicos” do estímulo tais como “saliência” ou “atenção” (Burr & Thompson, 2011). No que toca ao segundo factor, processo do movimento, este pode ser activo ou passivo. O processo do movimento activo envolve acompanhar os alvos com atenção à medida que estes se movem no campo visual. O processo passivo envolve matrizes densas de detectores de movimento localizado que monitorizam todas as áreas da retina.

Em 1980, foi introduzida uma nova definição na percepção do movimento, distinguindo movimento de curto alcance de movimento de longo alcance (Anstis, 1980; Braddick, 1980). O movimento de curto alcance corresponde à resposta dos processos de movimento passivos a estímulos de primeira ordem (Cavanagh, 1991). Já o movimento de longo alcance corresponde à resposta dos processos de movimento passivo a estímulos de segunda ordem, bem como à resposta dos processos de movimento activo a estímulos de primeira e segunda ordem (Cavanagh, 1991). Teorias recentes da percepção de movimento têm descrito tanto um sistema de baixo nível que desempenha uma computação direta inicial do movimento, como um sistema de alto nível que primeiro identifica algumas entidades localizadas espacialmente (ex: um objecto ou uma característica saliente) e depois acompanha a sua mudança de posição ao longo do tempo (Wilmer & Nakayama, 2007). Acredita-se ainda que, o processamento de movimento puro consiste em vários níveis. Primeiro é identificada a direção do movimento, em seguida a velocidade e depois são identificadas as características do movimento mais complexas que incorporam gradientes de velocidade. Finalmente é identificada a estrutura do movimento, sendo que a identificação da estrutura 3D de um objecto ou ambiente é derivada das propriedades complexas do campo de movimento 2D (Burr & Thompson, 2011).

3. Psicofísica e função psicométrica

a. Características da função psicométrica

A psicofísica é uma disciplina da psicologia que é geralmente descrita como o estudo científico da relação entre estímulos físicos e as respostas subjetivas ou as sensações e percepções que provocam. Esta disciplina tem por objetivo relacionar o mundo diretamente observável e as experiências sensoriais privadas que os seres têm desse mundo. Através do estudo dos limiares de percepção, a psicofísica aborda todos os sentidos e estuda tanto as percepções de animais como de humanos. Um limiar de percepção pode ser absoluto ou diferencial. Um limiar absoluto é o nível de intensidade de um estímulo para o qual um sujeito é capaz de detectar a presença desse mesmo estímulo uma determinada proporção de vezes. Um limiar diferencial representa a magnitude da diferença entre dois estímulos, de intensidades diferentes, que o sujeito é capaz de detectar uma determinada proporção de vezes. Um estímulo que é menos intenso do que o limiar sensorial não irá assim provocar nenhuma sensação ou percepção no sujeito. Por outro lado, estímulos que estão muito perto do limiar podem ser por vezes detectados e outras não.

Tanto nas experiências de identificação absoluta como nas de discriminação, os sujeitos devem avaliar se um dado estímulo é o mesmo, ou diferente de outro ou outros estímulos apresentados anteriormente. Nas experiências de discriminação pretende-se determinar em que ponto a diferença entre dois estímulos é detectável. São apresentados aos sujeitos dois estímulos, por exemplo duas velocidades, tendo o sujeito que decidir qual é o estímulo mais rápido, ou qual o mais lento, ou então que decidir se as velocidades são iguais ou diferentes. No ponto de igualdade subjectiva (PSE – *point of subjective equality*) o sujeito percepção as duas velocidades como sendo iguais. A diferença minimamente perceptível (JND – *just-noticeable difference*), ou limiar diferencial, é a magnitude da diferença que o sujeito detecta uma determinada proporção p de vezes.

Existem dois factores que afectam o desempenho em tarefas de discriminação: 1) a dependência da distribuição, a identificabilidade de um estímulo não está apenas limitada a factores perceptivos mas também depende da localização do estímulo relativamente aos restantes estímulos; e 2) efeitos sequenciais, o desempenho é melhor quando a sequência de apresentação está constringida de maneira que os estímulos em cada ensaio sejam relativamente parecidos com os estímulos apresentados no ensaio anterior (Brown, McCormack, Smith, & Stewart, 2005).

Os dados obtidos nas experiências de psicofísica podem ser representados por uma função psicométrica que descreve a relação entre um parâmetro de um estímulo físico (ex. velocidade) e as respostas do sujeito perante esse mesmo estímulo. Esta função tem usualmente uma forma sigmóide em que a proporção de respostas corretas é expressa no eixo das ordenadas e o parâmetro físico estudado no eixo das abcissas. No exemplo de discriminação de velocidade, se colocarmos a probabilidade de escolher o estímulo mais rápido, $P("R")$, em função da velocidade dos estímulos apresentados (do mais lento ao mais rápido), na função psicométrica, à medida que a velocidade aumenta, $P("R")$ cresce monotonicamente de 0 até 1. O PSE ou ponto de bissecção corresponde ao ponto no qual $P("R") = 0.5$. A localização do ponto de bissecção tem sido

um tema bastante discutido na literatura da psicofísica. A questão principal à volta deste tema é se o ponto de bissecção ocorre mais próximo da média geométrica, da média aritmética ou de outra média dos estímulos apresentados. No entanto, o ponto de bissecção parece variar sistematicamente com as condições experimentais. Apesar do padrão geral ser ainda pouco claro, parece existir uma tendência para experiências com ratos gerarem pontos de bissecção perto da média geométrica, enquanto que em experiências com humanos o PSE parece depender do modo como os estímulos são espaçados. Estímulos espaçados logaritmicamente tendem a gerar pontos de bissecção mais próximos da média geométrica, enquanto estímulos espaçados aritmeticamente tendem a gerar pontos de bissecção mais próximos da média aritmética (Brown, McCormack, Smith, & Stewart, 2005). Outro fator que parece afetar o ponto de bissecção em humanos é o rácio entre os estímulos, sendo que quanto maior o rácio, maior é o efeito de espaçamento (Brown, McCormack, Smith, & Stewart, 2005). Uma outra característica corresponde ao facto de que, para diferentes pares de estímulos apresentados, mas em que o rácio entre eles é mantido constante, as funções psicométricas sobrepõem-se quando apresentadas num mesmo eixo normalizado. Este efeito de sobreposição das funções psicométricas, indica que a dimensão em estudo obedece à propriedade escalar. A propriedade escalar é uma forma da lei de Weber (ver abaixo). Esta propriedade tem sido observada em várias dimensões (peso, altura, brilho, intensidade sonora, tempo, etc). O declive da função psicométrica fornece-nos informação acerca da confiança nas estimativas do limiar psicofísico. Através do declive da função podemos avaliar o grau de discriminação por parte do sujeito. Quanto maior o declive melhor a discriminação.

b. Função psicométrica da percepção de velocidade

Como já referido, o movimento, ou mais precisamente a velocidade, podem ser estudados através da procura de limiares absolutos de detecção ou limiares diferenciais de discriminação de velocidade.

Na área da detecção dos limiares absolutos pode-se estudar o limiar inferior e o limiar superior de detecção. Ambos são geralmente descritos por uma relação: à medida que a velocidade física é lentamente diminuída (limiar inferior) ou aumentada (limiar superior), é atingida uma velocidade abaixo (limiar inferior) ou acima (limiar superior) da qual o sujeito não apresenta quaisquer sinais de perceber movimento.

Na área dos limiares diferenciais de velocidade, que são geralmente estudados usando dois ou mais estímulos a moverem-se a velocidades diferentes, podemos obter a diferença de velocidade mínima detectável entre dois estímulos. Essa diferença mínima detectável pode ser tanto estudada com velocidades muito baixas, próximas do limiar inferior; com velocidades muito altas, próximas do limiar superior; ou com velocidades intermédias. Em termos psicofísicos, podemos explorar a precisão métrica em termos de até que ponto pequenas mudanças na velocidade podem ser detectadas. Por outras palavras, podemos definir a precisão como o inverso do limiar diferencial de velocidade.

Hodos, Smith e Bonbright (1975) estudaram a capacidade de pombos discriminarem dois discos pintados com riscas pretas e brancas, um a mover-se e o outro não. Variando a velocidade do disco que se

movia foram capazes de determinar a velocidade mínima detectável pelos pombos (limiar inferior). O pombo que obteve a discriminação mais baixa (melhor discriminação) obteve um limiar de 0.5cm/seg e o pombo com a discriminação mais alta (pior discriminação) obteve um limiar de 0.9cm/seg. Numa outra experiência usando uma película com barras horizontais que se movia verticalmente, obteve limiares mais baixos, o pombo com a discriminação mais baixa obteve um limiar de 0.44cm/seg e o pombo com a discriminação mais alta obteve um limiar de 0.56cm/seg. Um pombo que foi testado com outras velocidades conseguiu atingir um limiar de 0.27cm/seg. No entanto, estes resultados estão abaixo dos encontrados em humanos que rondam os 0.4min/arc em apresentações longas de um estímulo brilhante (Leibowitz, 1955). Os humanos são em geral, bons avaliadores de diferenças de velocidade. Em várias situações um humano consegue dizer se um estímulo que se move a 6°/seg é mais rápido que um que se move a 5°/seg, no entanto, com a prática pode tornar-se ainda mais preciso (McKee, Silverman, & Nakayama, 1986).

Mulvanny (1978) realizou uma experiência que pretendeu estudar a sensibilidade de pombos a diferenças de velocidade próximas do limiar superior de discriminação. Usando um ponto de luz brilhante que se podia mover da esquerda para a direita e vice-versa, foram apresentadas aos pombos velocidades intermédias a 0.6cm/seg e 2.41cm/seg, os pombos eram apenas reforçados por bicar no estímulo de referência, que era o mais rápido. Os resultados indicaram que os limiares diferenciais superiores dos três pombos estudados foram 1.12cm/seg, 1.36cm/seg, e 1.74cm/seg.

Do pouco que se sabe acerca do desenvolvimento da discriminação da velocidade sabe-se que crianças até aos 6 meses de idade são mais sensíveis a estímulos que se movem a velocidades altas do que a estímulos a velocidades baixas e que o mecanismo de discriminação de velocidade ainda é imaturo aos 5 anos. As crianças precisam de um maior aumento de velocidade do que os adultos para discriminares corretamente velocidades (Ahmed, Lewis, Ellemberg, & Maurer, 2005).

4. Escalas psicofísicas e propriedade escalar

a. Características escalares da percepção

O problema da escala existe desde o nascimento da psicologia como uma disciplina científica. Os fundadores da psicologia, incluindo Weber e Fechner consideravam como um dos seus objetivos principais a descrição matemática de como um contínuo de sensações, tais como o som e a duração, é representado na mente (Dehaene, 2003). Em estudos mais recentes, tem sido bastante abordada a questão de como são representadas internamente dimensões tais como a percepção do tempo e do número.

Estudos de discriminação têm demonstrado dois efeitos principais da escala, o efeito de distância e o efeito de tamanho. O efeito de distância refere-se ao facto de que o nível de desempenho de uma discriminação aumenta à medida que a distância entre os números ou tempo a discriminar aumenta. Assim, um sujeito acertaria mais vezes numa tarefa onde teria de discriminar o par 2 e 5 do que numa outra onde tivesse de discriminar o par 2 e 3. O efeito de tamanho, é observado quando os números ou tempo a serem discriminados

estão a uma distância fixa, mas a magnitude dos números ou do tempo aumenta. Assim, um sujeito teria mais facilidade em discriminar o par 1 e 2 do que o par 9 e 10. Esta característica tem sido amplamente debatida tanto na área do número como do tempo. No entanto, apesar da variedade de estudos produzidos ainda não existe consenso.

Na área de estudos do número, alguns investigadores (ex. Dehaene, 1992; 2001) sugerem que a percepção do número é melhor representada logaritmicamente, números pequenos estão a uma certa distância, mas os números seriam progressivamente comprimidos (a uma distância menor) à medida que a magnitude dos valores aumentasse (Moeller, et al., 2009). Assim, o sujeito teria um melhor desempenho numa discriminação entre os números 1 e 2 do que entre os números 5 e 6. Esta teoria da compressão da resposta encaixa bem com a lei de Weber. Em geral, a lei de Weber diz-nos que se a magnitude do estímulo muda, também deve mudar a diferença entre os estímulos para que o desempenho na discriminação se mantenha ao mesmo nível. Neste caso, à medida que a magnitude do estímulo aumenta, a precisão da discriminação diminui para estímulos igualmente distanciados.

Por outro lado, outros investigadores (ex. Brannon, et al., 2001; Gibbon & Church, 1981) sugerem uma representação linear, a distância entre números adjacentes não varia à medida que a magnitude aumenta (Moeller, et al., 2009). Assim, o sujeito teria o mesmo desempenho numa discriminação entre os números 1 e 2 e numa discriminação entre os números 5 e 6.

Outro grupo de investigadores (ex. Siegler & Opfer, 2003; Siegler & Booth, 2004; Booth & Siegler, 2006) sugere que existe uma transição de uma representação logarítmica para uma representação linear durante a infância e adolescência, dependendo da experiência e dos números testados (Dehaene, Izard, Spelke, & Pica, 2008). Por fim, outros autores (Dehaene, et al., 2008) sugerem que o número é uma intuição comum a todos os humanos e que essa intuição é representada logaritmicamente, no entanto a cultura e a educação formal fazem com que haja um desenvolvimento da representação do número linearmente.

Na área de estudos do tempo, o dilema é o mesmo. Será a representação interna do tempo logarítmica ou linear? Alguns investigadores (ex. Church & Deluty, 1977) defendem que o tempo é melhor representado logaritmicamente. Church e Deluty (1977) concluíram que o ponto de bissecção entre dois valores temporais encontra-se na média geométrica e então o tempo subjectivo estaria logaritmicamente relacionado com o tempo real. Se a variabilidade na escala logarítmica for constante então esta suposição, tal como na área do tempo, também se adequa bem à lei de Weber (Gibbon & Church, 1981). Assim, um sujeito teria mais facilidade em discriminar 1 e 2 segundos do que 5 e 6 segundos.

Por outro lado, outros autores (Gibbon, 1977; Gibbon & Church, 1981; Gallistel & Gelman, 1992) sugerem que a percepção do tempo é melhor representada linearmente. Gibbon (1977) desenvolveu um modelo que propõe uma explicação, a teoria da expectativa escalar (SET – *scalar expectancy theory*) que é uma forma modificada da lei de Weber. A mesma função de discriminação pode ser explicada através de uma escala interna linear com um aumento linear correspondente no desvio padrão da variabilidade interna. Tal como na lei original

de Weber, duplicando os valores leva a uma duplicação da variabilidade e portanto a metade da discriminação (Dehaene, 2003). De acordo com esta teoria, os sujeitos discriminam entre dois valores temporais calculando o seu rácio. A lei de Weber é prevista por esta explicação se o coeficiente de variação do tempo subjectivo for constante, isto é, se os desvios-padrão aumentarem proporcionalmente com as médias. No modelo SET também se obtém um ponto de bissecção na média geométrica se a similaridade entre as durações intermédias e os valores curtos e longos for feita por uma comparação de rácios (Gibbon & Church, 1981). Como apontam Gibbon e Church (1981), as duas explicações são similares: as comparações da representação logarítmica são obtidas através do cálculo das diferenças, e isto corresponde a calcular o rácio no tempo real; o coeficiente de variação constante no modelo SET equivale à variância constante na representação logarítmica do tempo real.

O modelo desenvolvido por Gibbon (1977) também se pode aplicar à percepção do número. Podem-se obter os mesmos efeitos de desempenho se se assumir um dimensionamento linear da numerosidade, com uma variabilidade escalar na representação interna do número em magnitudes crescentes; ou um dimensionamento logarítmico da numerosidade, com uma variedade logarítmica constante na actividade de processamento das unidades (Emmerton & Renner, 2006). Se os sujeitos forem treinados a discriminar duas quantidades, e depois lhes for pedido que avaliem se outros valores de estímulos são mais parecidos com o estímulo de treino curto ou longo, as funções psicométricas da distribuição das escolhas “curto” versus “longo” devem sobrepor-se, de acordo com determinadas condições. Se as numerosidades a serem discriminadas estiverem no mesmo rácio, as funções devem coincidir, mesmo se os estímulos absolutos diferirem. Este efeito de sobreposição provém da lei de Weber. Ainda, se cada função psicométrica for normalizada pela média subjectiva de discriminação (o ponto de bissecção entre os valores treinados, ou o PSE), então as funções devem sobrepor-se também para diferentes rácios de numerosidade (Gibbon & Church, 1981).

As previsões psicofísicas dos modelos linear e logarítmico são essencialmente equivalentes e sem a possibilidade de um novo paradigma psicofísico, parece difícil que algum dia as observações comportamentais por si só possam esclarecer as hipóteses linear e logarítmica (Dehaene, 2003).

b. Escalas de velocidade

A área da percepção da velocidade, em comparação com as áreas da percepção temporal e numérica, tem recebido menos interesse no que toca à representação interna da velocidade e como esta se relaciona com a velocidade real.

No entanto, tem sido encontrado em alguns estudos com humanos (McKee & Nakayama, 1984; Orban, de Wolf & Maes, 1984; De Bruyn & Orban, 1988) que a fração de Weber (o rácio do limiar de discriminação para a velocidade de referência) é aproximadamente constante em várias velocidades de referência que variam de 5°/seg até 60°/seg, mas varia significativamente em velocidades altas e baixas; presumivelmente o substrato neuronal para a discriminação da velocidade evoluiu de maneira a manter as

frações de Weber aproximadamente constantes de modo a permitir que as avaliações de velocidade se ajustem à velocidade (Nover, Anderson, & DeAngelis, 2005).

Em estudos com humanos, Nakayama e Tyler (1980) e Mckee e Nakayama (1984) encontraram que para velocidades superiores a $1.5^\circ/\text{seg}$ a fração de Weber mantém-se constante e é de aproximadamente 5%. Zanker (1995), refere também que a sensação de movimento parece assemelhar-se a outras percepções, estando de acordo com a lei de Weber e sendo melhor representada por uma compressão não-linear, no entanto o autor refere que a sensibilidade para a velocidade parece ser comparativamente baixa, como indicado pelos valores altos da fração de Weber. A fração de Weber obtida foi de 0.6 enquanto valores mais baixos são geralmente obtidos para outras percepções: 0.3 para levantamento de pesos, 0.02 para a percepção de luminosidade, 0.05 para a percepção do som e 0.04 para a discriminação de frequência espacial. Nover, Andersen, e DeAngelis (2005), partindo do princípio que a percepção da velocidade segue a lei de Weber, estudaram qual seria a melhor representação de velocidade na área temporal média (MT) do córtex visual do cérebro de primatas. Segundo a previsão de uma codificação logarítmica, o limiar de discriminação de velocidade deve aumentar linearmente à medida que a velocidade de referência aumenta, e então a fração de Weber deve manter-se constante. Por outro lado, a previsão de codificação linear prevê que o limiar de discriminação de velocidade se mantenha constante, de maneira que a fração de Weber diminua com o aumento da velocidade. Comparando os dados obtidos com as previsões dos dois modelos, os autores concluíram que a percepção da velocidade na área MT é melhor representada por uma codificação aproximadamente logarítmica.

Como visto acima, a percepção de velocidade é um aspecto importante que tem consequências no dia-a-dia dos humanos e dos animais. Várias têm sido as experiências desenvolvidas tanto com humanos como com animais para melhor entender os processos e fenómenos subjacentes à complexidade da percepção de velocidade. Foram elaboradas experiências que tentaram encontrar os limites da percepção de movimento assim como outras experiências que se concentraram no estudo de padrões de movimento mais complexos, tais como a discriminação de figuras *lissajous* (estas figuras são representadas por gráficos de um sistema de equações paramétricas que descrevem movimentos complexos harmónicos) (ver Emmerton, 1986; 1990); a capacidade de discriminar movimento coerente de movimento de pontos aleatórios (ver Bischof, et al., 1999); a discriminação de objectos dinâmicos tri-dimensionais (ver Cook & Katz, 1999; Cook, Shaw & Blaisdell, 2001); a discriminação da direção do movimento (ver Goto & Lea, 2003); a capacidade de transpor a discriminação de um movimento específico para o mesmo movimento, mas representado por alguns pontos luminosos nas articulações principais (estímulo usado por Gunnar Johansson (1973; 1976) no estudo do movimento biológico) (ver Dittrich, et al., 1998); e também estudos que abordaram a perspectiva neuronal da percepção do movimento (ver Stevens, et al., 2000; Frost, Wylie & Wang, 1994; Frost & Wylie, 2000). No entanto a área da

escala da percepção do movimento e como é feita a sua codificação, sobretudo em animais ainda está pouco estudada.

O objetivo da presente tese foi por um lado obter a função psicométrica de discriminação de velocidade em pombos e estudar a sua forma e propriedades. Em seguida pretendemos estudar como os pombos codificam a velocidade, tentando perceber se a representação interna da velocidade é melhor descrita por uma codificação logarítmica, linear ou outra. Por fim, estudámos a propriedade escalar da percepção da velocidade, analisando se a percepção de velocidade em pombos, tal como sugerido por estudos com humanos, obedece à propriedade escalar e se é possível encontrar uma fração de discriminação para diferentes valores de diferenças de velocidade. Para isto foram realizadas três experiências. Na experiência 1 estudámos a função psicométrica da discriminação diferencial de velocidade e analisámos as suas características; na experiência 2 tivemos por objetivo estudar as escalas da percepção de velocidade; e na experiência 3 testámos se a percepção de velocidade em pombos obedece à propriedade escalar.

II - Experiências

1. Experiência 1

a. Objetivo

O objetivo desta experiência foi estudar a função psicométrica da percepção de velocidade. Realizámos uma experiência que consistia numa tarefa de discriminação simultânea onde os estímulos eram apresentados num paradigma de escolha forçada com duas alternativas.

b. Método

i. Participantes

Quatro pombos (*Columba livia*), P131, P61, P246, e P403, foram mantidos a 80% do seu peso em alimentação livre com água e grit sempre disponíveis nas gaiolas. Os pombos viviam num viveiro em que um ciclo artificial claro-escuro 13:11h funcionava (as luzes acendiam-se às 8:00). Os pombos eram todos experientes e tinham previamente participado num estudo piloto que pretendeu calibrar os ecrãs sensíveis e afinar o procedimento para as experiências. Nesse estudo piloto os pombos foram treinados a bicar no ecrã sensível de maneira eficiente e aprenderam a cadeia de comportamentos através de uma aprendizagem por etapas com treino de encadeamento inverso.

ii. Materiais

Os pombos foram testados em duas caixas experimentais idênticas. Cada caixa media 70cm em largura, 50cm em altura e 45cm em comprimento. As paredes, tecto e chão eram feitos de alumínio, o chão era ainda recoberto por uma rede metálica.

O painel frontal das caixas estava equipado com um ecrã táctil TFT LCD (Elo Touch, modelo 1515L) Accutouch 5-fios (ecrã não multi-táctil), de 15'' (30.4cm x 22.8cm), com uma resolução de 1024 x 768 pixéis, com um ângulo visual horizontal de 130°, e vertical de 120°, onde os estímulos eram apresentados e onde os pombos bicavam para escolher os estímulos. A força de activação mínima era de 113g e tinha uma precisão de 2mm. A parte inferior do ecrã (onde eram apresentados os comandos e estatísticas durante a experiência) estava coberta por uma placa em acrílico preta, tornando a área do ecrã visível para os pombos de 30.4cm x 17cm.

O painel traseiro era constituído por uma lâmpada de iluminação geral; duas teclas circulares que mediam 2.5cm em diâmetro, centradas na parede, afastadas uma da outra 13cm e a 22cm do chão, ambas as teclas podiam ser iluminadas com uma luz amarela mas nesta experiência apenas a tecla da direita foi utilizada; o painel traseiro continha ainda um alimentador que dava acesso a uma mistura de grãos para pombos e uma lâmpada dentro do alimentador iluminava as apresentações de comida. O alimentador podia ser activado externamente através de um interruptor que o experimentador podia ativar, ou de acordo com as contingências experimentais. O alimentador era acessível através de um buraco de 6cm x 5cm e estava centrado no painel a 8cm do chão.

O painel lateral esquerdo continha uma ventoinha que permitia a circulação de ar dentro da caixa e também servia de ruído branco.

O painel lateral direito era uma porta que era mantida fechada durante as sessões experimentais. Esta porta continha uma janela com um espelho unidireccional que permitia ao experimentador observar os pombos dentro da caixa. Esta janela podia ser tapada por uma cortina de borracha que impedia a interferência de luz durante as sessões experimentais.

O controlo dos aparelhos electromecânicos foi feito através de duas placas digitais da marca Keithley, modelo KPCI-IPDIS08. A linguagem de programação utilizada foi LabView, versão 8.2.

iii. Estímulos

Os estímulos usados eram dois Point Light Walkers (PLW) apresentados num vídeo projectado no ecrã que se moviam horizontalmente num fundo preto (ver Figura 1). PLW são estímulos criados a partir da gravação de movimentos de pessoas ou animais no escuro, onde pontos luminosos são colocados nas articulações principais do corpo. Desta gravação obtém-se um vídeo onde apenas se vêem as luzes a moverem-se (para mais detalhes acerca dos estímulos PLW consultar Johansson 1973; 1976; para mais detalhes acerca da técnica de criação de PLW ver Dekeyser, Verfaillie, & Vanrie, 2002). O vídeo media 20cm x 15cm, e estava colocado a 1cm acima da margem inferior do ecrã (a área visível do ecrã), a 1cm abaixo da margem superior, e a 5.2cm das margens laterais. Cada PLW media 4.5cm em altura e 2.5cm em largura estando posicionados 2cm acima da margem inferior do vídeo, 2cm abaixo da margem superior e separados 2cm. Os pontos dos PLW eram esferas brancas de 0.3° (5 x 5 pixéis). Cada PLW

podia mover-se da direita para a esquerda e da esquerda para a direita. A velocidade de referência para a tarefa de correspondência era de 5cm/seg e o outro PLW podia mover-se a uma de seis velocidades (5cm/seg, 4cm/seg, 3cm/seg, 2cm/seg, 1cm/seg ou 0.2cm/seg), a velocidade de cada PLW era independente da velocidade do outro.



Figura 1. Captação de uma frame do vídeo apresentado com os estímulos PLW.

iv. Procedimento

Linha de base: A linha de base desta experiência foi criada a partir das várias modificações que foram introduzidas ao longo do estudo piloto. O objetivo desta fase era obter uma discriminação simultânea de velocidade. Cada sessão era constituída por 90 ensaios. Cada ensaio começava por um intervalo entre ensaios (ITI) de 30seg, depois acendia-se a tecla no painel traseiro, 2seg após o pombo bicar nessa tecla apareciam os 2 PLW a moverem-se no ecrã sensível, um a 5cm/seg (S+) e o outro a 0.2cm/seg (S-). Em 80% dos ensaios corretos o pombo tinha um breve acesso a comida e um novo ensaio começava; nos restantes 20% dos ensaios corretos o pombo não recebia nenhum tipo de reforço e iniciava imediatamente um novo ensaio (estes ensaios corretos não-reforçados serviam de preparação para a fase de teste onde os ensaios de teste não seriam reforçados, aumentando assim a resistência à extinção da resposta). Se o pombo bicasse no estímulo mais lento, seguia-se um período de *time-out* (TO) de 5seg, em que tudo ficava escuro, e depois um novo ensaio iniciava. Se os pombos não fizessem nenhuma escolha durante 20seg, o ensaio era cancelado e era iniciado um ensaio de correção onde as mesmas condições do estímulo eram repetidas (para efeitos de análise apenas eram usados os dados do primeiro ensaio e não os dos ensaios de correção). O critério para adquirir a linha de base era 80% de respostas corretas durante 5 sessões consecutivas.

Teste: A fase de teste era composta de 10 sessões onde foi usado um procedimento de generalização. Cada sessão era composta de 90 ensaios, 60 regulares (idênticos aos da linha de base) em que todas as respostas corretas eram reforçadas e 30 ensaios de teste, que nunca eram reforçados. Este procedimento onde se misturam ensaios regulares reforçados com ensaios de teste não reforçados de maneira aleatória ajuda a evitar a extinção da resposta.

Os ensaios de teste eram parecidos com os ensaios regulares com a exceção de que a velocidade do S- era manipulada sistematicamente de maneira a obter um limiar de discriminação. Cada vídeo dos ensaios de teste era composto por um PLW que se movia a 5cm/seg (velocidade de referência) e outro que se podia mover a 1cm/seg, 2cm/seg, 3cm/seg, 4cm/seg ou 5cm/seg. Cada velocidade testada era apresentada 6 vezes por sessão, em 3 ensaios a velocidade de referência estava na posição de cima e nos outros 3 ensaios estava na posição de baixo.

c. Resultados

A linha de base foi rapidamente aprendida pelos quatro pombos sendo apenas necessárias 5 sessões para atingir o critério. Na Figura 2 podemos ver as funções psicométricas de cada pombo adquiridas durante o teste. Nos gráficos estão apresentadas as probabilidades de escolher o estímulo de cima em função da diferença de velocidade (o valor do estímulo apresentado em cima menos o valor do estímulo apresentado em baixo) em cm/seg. Por exemplo, uma diferença de velocidade de -2cm/seg significa que o estímulo que se estava a mover em cima era de 3cm/seg e o que se estava a mover em baixo era de 5cm/seg; uma diferença de velocidade de 2cm/seg implica que a velocidade de cima era de 5cm/seg e a de baixo 3cm/seg; uma diferença de 0cm/seg significa que ambos os estímulos se moviam a 5cm/seg. Assim sendo, um ensaio com uma diferença de velocidade de -2cm/seg tem a mesma diferença de velocidade que um ensaio com uma diferença de velocidade de 2cm/seg; apenas está invertida a posição dos estímulos.

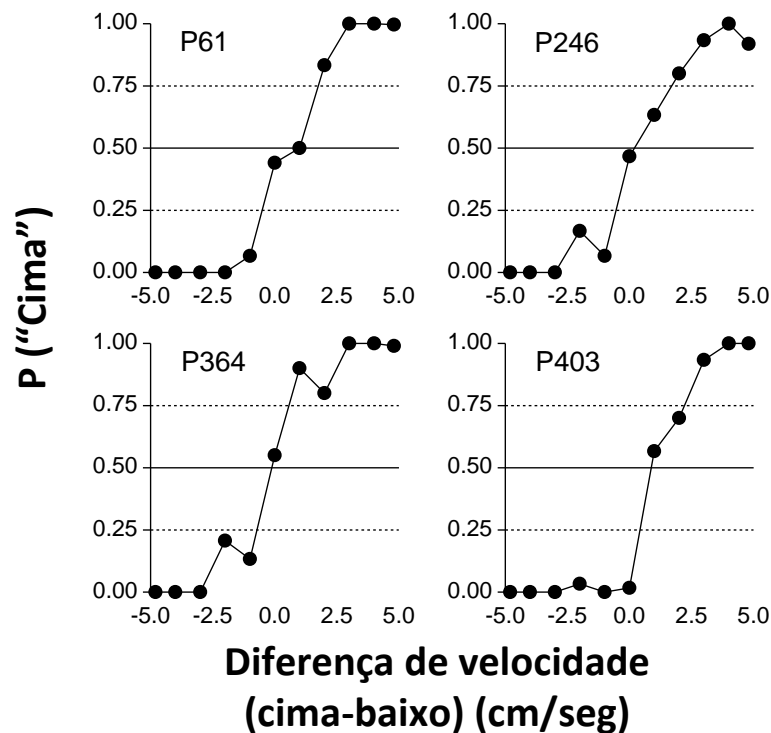


Figura 2. Funções psicométricas de cada pombo obtidas durante o teste da experiência 1. A probabilidade de escolher "cima" foi traçada em função da diferença de velocidade (a velocidade do estímulo de cima menos a velocidade do estímulo de baixo) em cm/seg.

A partir das funções psicométricas podemos constatar que todos os pombos apresentam uma função sigmóide. Inicialmente a probabilidade de escolher o estímulo de cima é de 0 em todos os pombos e aumenta progressivamente à medida que a diferença de velocidade aumenta, até atingirem a probabilidade de 1. Os valores muito próximos de 0 ou de 1 indicam que essas diferenças de velocidade são facilmente discriminadas pelos pombos. No entanto, outras diferenças de velocidade são mais difíceis de detectar.

Pela observação do gráfico, podemos verificar que diferenças de velocidade iguais ou superiores a 3cm/seg são discriminadas com um grau de acertos superior a 90%. Os ensaios com uma diferença de velocidade de 0cm/seg, permitem-nos observar se os pombos apresentam algum tipo de preferência por uma área do ecrã (cima ou baixo). Verificamos que apenas o P403 demonstra uma clara preferência pela parte inferior do ecrã, tendo escolhido no total das sessões uma única vez o estímulo de cima (2%).

Na Tabela 1 podemos observar os pontos de bissecção de cada pombo. Tomámos como ponto de bissecção os valores com probabilidade de 0.25 e 0.75, onde os sujeitos têm um desempenho entre o nível do acaso (0.5) e a discriminação perfeita (0 ou 1). As diferenças de velocidade que se encontram entre estas probabilidades são consideradas como difíceis de discriminar. O ponto de bissecção foi determinado usando o método de interpolação linear. Usámos a interpolação linear nas funções psicométricas de cada pombo para encontrar em que diferença de velocidade os pombos tinham uma probabilidade de escolher o estímulo de cima igual a 0.25 e 0.75; usando os valores absolutos dessas diferenças de velocidade calculámos a sua média e obtivemos os pontos de bissecção de cada pombo.

Tabela 1. Ponto de bissecção para cada pombo no teste da experiência 1. O ponto de bissecção foi calculado a partir da média das diferenças de velocidade absolutas de $P(\text{Cima}) = 0.25$ e $P(\text{Cima}) = 0.75$.

Pombo	P ("Cima")		Ponto de bissecção
	P=.25	P=.75	
P61	0.51	1.75	1.13
P246	0.54	1.70	1.12
P364	0.72	0.57	0.65
P403	0.42	2.21	1.32

Através da análise dos pontos de bissecção, podemos constatar que com a faixa de velocidades usada (entre 0.2cm/seg e 5cm/seg), os pombos são capazes de discriminar diferenças de velocidade de pelo menos 1.32cm/seg (limiar mais alto obtido entre pombos). O pombo que obteve a melhor discriminação conseguiu detectar diferenças de velocidade de 0.65cm/seg (limiar mais baixo obtido entre pombos). Pela comparação entre os limiares de discriminação $P = .25$ e $P = .75$, verificamos que todos os pombos, excepto o P364, têm um limiar diferencial maior quando a resposta correta estava na área de cima do que quando estava na área de baixo, o que indica que os pombos em geral demonstraram uma preferência por bicar no estímulo de baixo.

d. Discussão

O objetivo principal da experiência 1 era obter uma função psicométrica de discriminação de velocidade e estudar as características dessa função.

A forma da função obtida vai de encontro a outras experiências na área da discriminação da velocidade e da psicométrica em geral, uma função em forma de S, com uma probabilidade inicial perto de 0 que aumenta progressivamente até uma probabilidade final próxima de 1.

Os limiares diferenciais obtidos permitem-nos concluir que os pombos são capazes de discriminar diferenças de velocidade mas que, pelo menos com a faixa de velocidades que usámos, têm bastantes dificuldades em detectar diferenças de velocidade à volta de 1cm/seg. Num procedimento que teve por objetivo estudar o limiar superior de discriminação de velocidade, Mulvanny (1978) obteve limiares similares aos obtidos nesta experiência; usando velocidades entre 0.6cm/seg e 2.41cm/seg obteve os seguintes limiares em três pombos estudados: 1.12cm/seg, 1.36cm/seg, e 1.74cm/seg.

Por fim, esta experiência permitiu-nos constatar que os pombos tiveram uma preferência geral pelo estímulo apresentado em baixo. Esta característica pode estar relacionada com a complexidade do estímulo, um estímulo com uma forma humana, não uniforme, com vários pontos isolados e sem um ponto central de referência. Concluimos que o estímulo usado era complexo, constituindo eventualmente uma dificuldade acrescida na tarefa de discriminação. Para além disso o estímulo também era complicado de manipular experimentalmente.

Tendo em vistas os objetivos das experiências seguintes, em que pretendíamos estudar outras faixas de velocidades, achámos que seria preferível optar por um estímulo mais simples e mais fácil de manipular.

2. Experiência 2

a. Objetivo

A experiência 2 teve por objetivo principal estudar a representação interna da velocidade em pombos. Como referido na introdução, experiências com humanos têm sugerido que a percepção da velocidade tem uma representação interna logarítmica. Assim o nosso objetivo foi estudar se a percepção de velocidade em pombos também é melhor representada logaritmicamente. Para atingirmos esse objetivo achámos que, tal como sugerido na discussão da experiência 1, seria preferível usar estímulos mais simples. Assim optámos por em vez dos PLW, usarmos círculos brancos. Este estímulo, para além de mais simples, não implicando dificuldades extra para a discriminação, era também experimentalmente mais fácil de manipular, permitindo explorar outras faixas de velocidades. Desta forma a comparação posterior entre os dados obtidos com esta faixa de velocidades e outras seria direta.

b. Método

i. Participantes

Os participantes usados na experiência 2 foram os mesmos usados na experiência 1.

ii. Materiais

Os materiais usados na experiência 2 foram os mesmos usados na experiência 1.

iii. Estímulos

Os estímulos usados nesta experiência foram círculos brancos que mediam 3.5cm em diâmetro e se moviam num fundo preto (ver Figura 3). O vídeo media 20cm x 15cm, estando centrado no ecrã a 5.2cm das margens laterais, e a 1cm das margens superior e inferior. Cada vídeo era composto de 2 círculos que se moviam horizontalmente ao longo do eixo das abcissas. O círculo posicionado em baixo estava a 2cm da margem inferior do vídeo e o círculo posicionado em cima estava a 2cm da margem superior. Os círculos estavam afastados por 2cm.

A velocidade de referência para a tarefa de correspondência era de 5cm/seg. O outro círculo podia mover-se a 0.2cm/seg, 1cm/seg, 2cm/seg, 3cm/seg, 4cm/seg ou 5cm/seg. Os círculos podiam começar em qualquer ponto do eixo das abcissas e podiam mover-se da esquerda para a direita e da direita para a esquerda. Tanto o ponto de partida como a direção do movimento podiam ser diferentes para cada círculo e eram definidos aleatoriamente pelo programa. A designação cima/baixo foi feita pseudo-aleatoriamente.

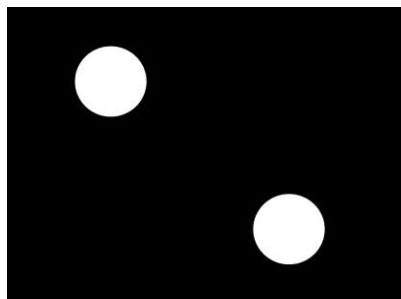


Figura 3. Captação de uma frame do vídeo com os estímulos usados durante a experiência 2.

iv. Procedimento

Linha de base: O procedimento da linha de base foi idêntico ao usado na Experiência 1, com a exceção de que os estímulos usados eram círculos em vez de PLW.

Teste: Tal como o procedimento da linha de base, o procedimento do teste foi idêntico ao teste da experiência 1, com a exceção de que os estímulos eram círculos em vez de PLW.

c. Resultados

Esta experiência pretendeu para além de estudar a codificação da velocidade em pombos, replicar os dados obtidos na experiência 1 mas com estímulos diferentes.

O critério de aprendizagem da linha de base era cinco sessões consecutivas com pelo menos 80% de respostas corretas. Os pombos P246 e P403 apenas necessitaram de cinco sessões para atingir o critério, enquanto os pombos P61 e P364 precisaram de 9 e 11 sessões respectivamente. Estes dados sugerem que a discriminação aprendida na experiência anterior foi facilmente generalizada para outros estímulos.

Na Figura 4 podemos ver as funções psicométricas de cada pombo obtidas durante o teste da experiência 2. Nos gráficos estão representadas as probabilidades de escolher o estímulo de cima em função da diferença de velocidade em cm/seg.

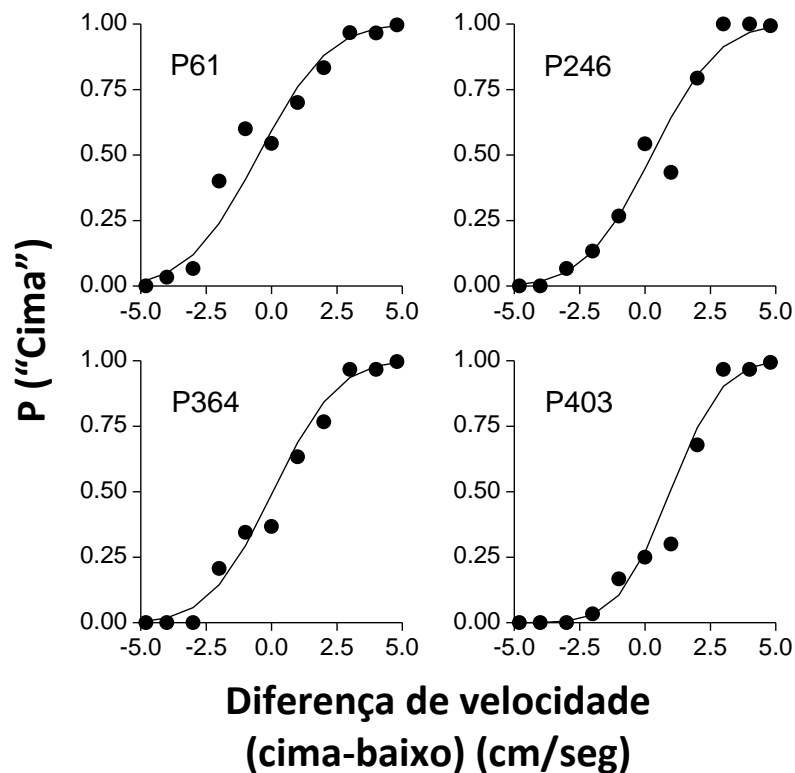


Figura 4. Funções psicométricas de cada pombo obtidas durante o teste da experiência 2. A probabilidade de escolher “cima” foi traçada em função da diferença de velocidade (a velocidade do estímulo de cima menos a velocidade do estímulo de baixo) em cm/seg. Os pontos pretos representam os dados obtidos pelos pombos. A curva traçada representa os valores preditos pelo modelo linear (ver abaixo).

Pela observação dos gráficos podemos constatar que as funções psicométricas de cada pombo têm uma forma sigmóide; inicialmente a probabilidade de escolher o estímulo de cima é de 0 e vai aumentando progressivamente à medida que a diferença de velocidades aumenta, até atingir a probabilidade de 1. Através da

análise dos limiares de discriminação (ver Tabela 2) verificamos que os pombos foram capazes de discriminar, pelo menos, diferenças de velocidade de 1.92cm/seg (limiar mais alto obtido entre pombos). O pombo que obteve a melhor discriminação, conseguiu discriminar diferenças de velocidade de 1.13cm/seg (limiar mais baixo obtido entre pombos).

Tabela 2. Ponto de bisseção para cada pombo no teste da experiência 2. O ponto de bisseção foi calculado a partir da média das diferenças de velocidade absolutas de $P(\text{Cima}) = 0.25$ e $P(\text{Cima}) = 0.75$.

Pombo	P ("Cima")		Ponto de bisseção
	P=.25	P=.75	
P61	2.45	1.38	1.92
P246	1.13	1.88	1.51
P364	1.69	1.88	1.79
P403	0.00	2.25	1.13

Como já referido, o objetivo principal da experiência 2 foi estudar como é codificada a velocidade em pombos. Os autores que têm estudado a questão da codificação de dimensões psicológicas têm sobretudo abordado dois modelos de codificação, a codificação linear e a logarítmica. Na nossa tentativa de perceber qual dos dois melhor descreve a representação interna da velocidade formulámos um quadro comum que permite avaliar as previsões de maneira simples.

Este modelo comum pressupõe que a percepção da velocidade do pombo muda de ensaio em ensaio e que a velocidade segue uma distribuição Gaussiana. O estímulo de cima (V_{cima}), assim como o estímulo de baixo (V_{baixo}) são representados por variáveis aleatórias X_{cima} e X_{baixo} que seguem uma distribuição normal com os parâmetros média (φ) e desvio-padrão (σ):

$$V_{cima} \rightarrow X_{cima} \sim N(\varphi(V_{cima}), \sigma)$$

$$V_{baixo} \rightarrow X_{baixo} \sim N(\varphi(V_{baixo}), \sigma)$$

No caso do modelo linear, $\varphi(X) = x$; no caso do modelo logarítmico, $\varphi(X) = \log x$

A decisão do pombo de escolher "cima" segue uma regra de resposta; o pombo escolhe o estímulo de cima se X_{cima} for superior a X_{baixo} com um grau de viés (θ):

$$\begin{aligned} X_{cima} &> X_{baixo} + \theta \\ &= X_{cima} - X_{baixo} > \theta \end{aligned}$$

Sendo assim a probabilidade de escolher "cima" é:

$$p(\text{"cima"}) = p(X_{cima} - X_{baixo} > \theta)$$

A diferença entre X_{cima} e X_{baixo} é uma variável aleatória que segue uma distribuição normal: $N(\varphi(V_{cima}) - \varphi(V_{baixo}), \sqrt{2}\sigma)$. Portanto, a probabilidade de escolher "cima" é:

$$\int_{\theta}^{+\infty} f(x; \varphi(V_{cima}) - \varphi(V_{baixo}), \sqrt{2}\sigma) dx$$

$$= \int_{\frac{\theta - [\varphi(V_{cima}) - \varphi(V_{baixo})]}{\sqrt{2}\sigma}}^{+\infty} f(x; 0, 1) dx$$

Esta função da distribuição acumulada de uma lei normal central reduzida dá-nos os valores previstos pelo modelo. Esta função representa a integral de ficar à *direita* do valor. No entanto, para podermos representar graficamente as previsões do modelo tivemos de alterar a equação de modo a obter a probabilidade de ficar à *esquerda* na distribuição (o programa Excel, por exemplo, permite calcular esta probabilidade). Esta probabilidade é:

$$1 - p(\text{"cima"}) = \int_{-\infty}^{\frac{\theta - [\varphi(V_{cima}) - \varphi(V_{baixo})]}{\sqrt{2}\sigma}} f(x; 0, 1) dx$$

A partir desta equação podemos traçar as previsões do modelo linear, com $\varphi(X) = x$, e verificar como este se ajusta aos dados. Na Figura 4, a curva de forma sigmóide traçada junto da distribuição individual de cada pombo representa as previsões do modelo que mais se ajustam aos dados. Como podemos constatar, o modelo ajusta-se bastante bem aos dados, representando claramente a sua forma. Estes resultados permitem-nos perceber que o modelo linear descreve bem a percepção de velocidade do pombo.

Para melhor avaliarmos a capacidade do modelo linear descrever a percepção da velocidade realizámos uma análise de regressão dos dados. Na Figura 5 podemos observar os gráficos da regressão linear dos dados de cada pombo.

Nos gráficos está representado o inverso da distribuição acumulada em função da diferença de velocidade. A inversão dos dados foi obtida através de uma transformação da probabilidade de $1 - p(\text{"cima"})$. Essa transformação linear foi feita a partir da função `INV.NORM` do programa Excel. Esta função devolve o inverso da distribuição cumulativa normal central reduzida; e está representada no gráfico pelos pontos pretos.

$$\text{INVNORM}[1 - p(\text{"cima"}); 0; 1]$$

A recta traçada junto dos dados permite-nos comparar se a transformação linear dos dados se ajusta bem a uma recta.

$$\text{INVNORM}[1 - p(\text{"cima"})] = \frac{\theta - [\varphi(V_{cima}) - \varphi(V_{baixo})]}{\sqrt{2}\sigma}$$

$$\text{INVNORM}[1 - p(\text{"cima"})] = \frac{\theta}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} (V_{cima} - V_{baixo})$$

Esta recta representa as previsões do modelo linear em que: $\frac{1}{\sqrt{2}\sigma}$ nos dá o declive da função e, $\frac{\theta}{\sqrt{2}\sigma}$ a intercepção. Podemos verificar que os dados de cada pombo são compatíveis com a função $y = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} + \frac{\theta}{\sqrt{2}\sigma}$.

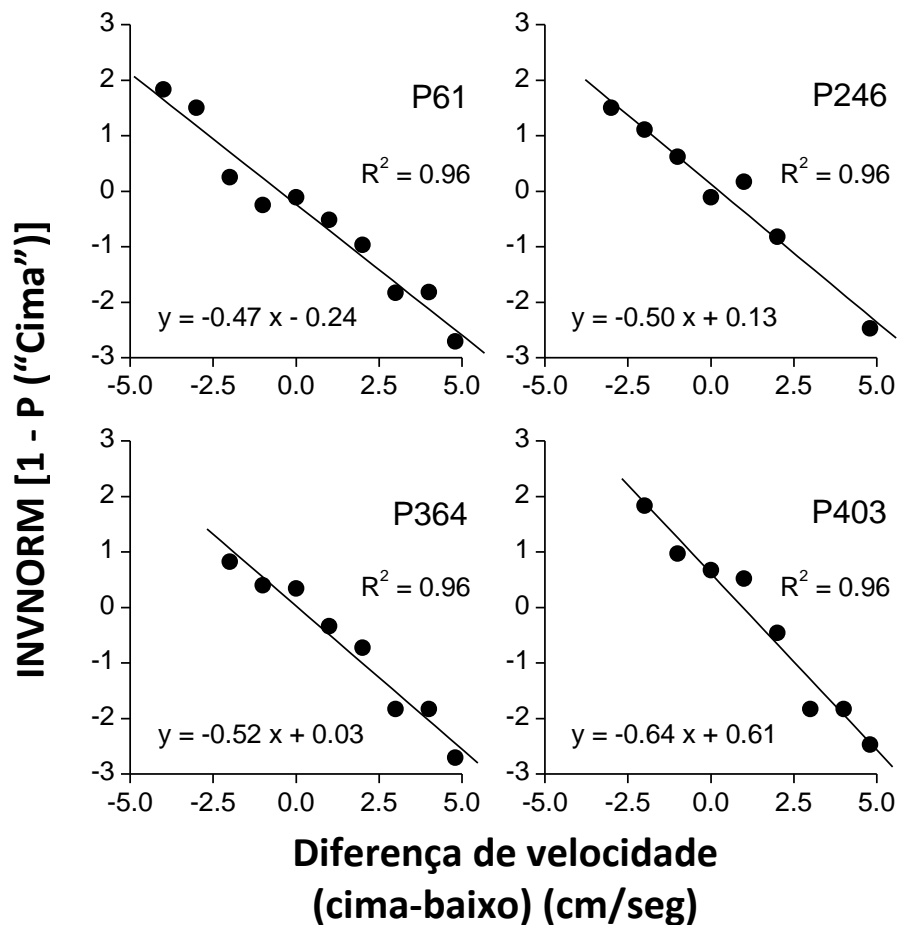


Figura 5. Análise de regressão linear dos dados obtidos durante o teste da experiência 2. O inverso da distribuição acumulada foi traçado em função da diferença de velocidade (o valor do estímulo de cima menos o valor do estímulo de baixo) em cm/seg.

Como podemos constatar pela observação dos gráficos, a recta ajusta-se bem aos dados. De modo a saber até que ponto este ajustamento é bom, calculámos o coeficiente de determinação, R^2 , entre os dados observados e os previstos pelo modelo. Quanto mais o valor de R^2 se aproxima de 1, maior é a correlação entre os dados. Todos os pombos obtiveram um valor de $R^2 = .96$, o que indica que de facto uma recta é uma boa descrição dos dados.

Por fim foi conduzida uma análise de resíduos (ver Figura 6). No gráfico está representada a diferença entre os dados de INVNORM observados ($INVNORM[1 - p(\text{"cima"})$; 0; 1]) e os dados de INVNORM previstos tanto pelo modelo linear ($INVNORM[1 - p(\text{"cima"})] = \frac{\theta}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{1}{\sqrt{2}\sigma}(V_{cima} - V_{baixo})$) como pelo modelo logarítmico $INVNORM[1 - p(\text{"cima"})] = \frac{\theta}{\sqrt{2}\sigma} - \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \ln(V_{cima}/V_{baixo})$ em função de $INVNORM[1 - p(\text{"cima"})]$. O gráfico da esquerda representa a comparação com o modelo linear e o da direita com o modelo logarítmico.

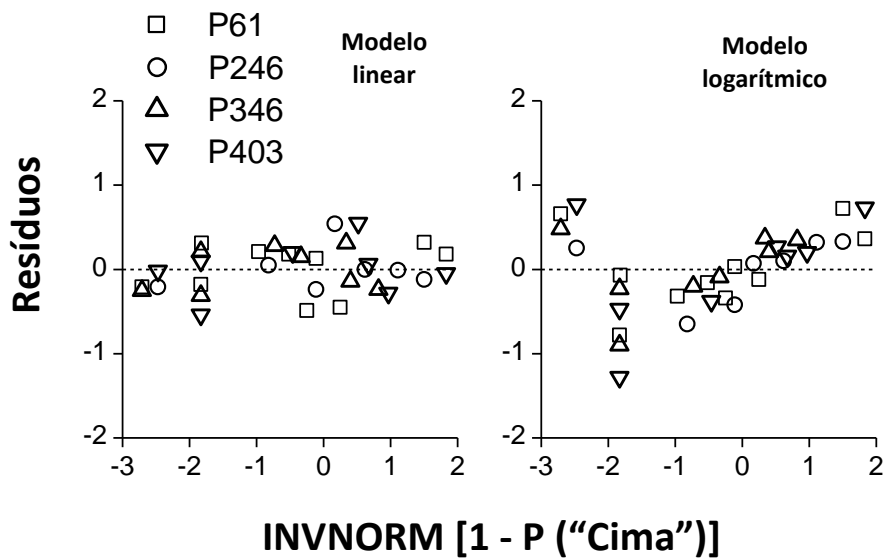


Figura 6. Análise de resíduos comparando as previsões do modelo linear e do modelo logarítmico. Os resíduos (diferença entre os dados de INVNORM observados e os dados INVNORM previstos) foram traçados em função de INVNORM [1-p(“cima”)].

Como podemos observar pela comparação dos dois gráficos, no gráfico do modelo linear observamos uma nuvem de pontos que se distribui à volta do zero, indicando que não existem grandes diferenças entre os dados observados e as previsões do modelo, por outro lado, no gráfico do modelo logarítmico, vemos que os dados são mais dispersos e afastam-se mais da linha do zero indicando que existe maior diferença entre os dados observados e os dados previstos por este modelo. A maior diferença observada no gráfico do modelo linear é uma diferença de 0.54 enquanto no gráfico do modelo logarítmico é uma diferença de 1.28.

d. Discussão

A experiência 2 consistiu de uma replicação da experiência 1 com estímulos diferentes. Nesta experiência observámos pontos de bissecção entre diferenças de velocidade de 1.13cm/seg e 1.92cm/seg. Estes valores são superiores aos encontrados durante a experiência 1, que se mantiveram entre 0.65cm/seg e 1.32cm/seg. O que parece indicar que os pombos, na discriminação com círculos, tiveram mais dificuldade em discriminar os estímulos. Esta diferença nos pontos de bissecção pode ser devida ao facto de antes da experiência 1 ter iniciado os pombos já terem sido expostos às mesmas velocidades durante o estudo-piloto. O treino pode ter aumentado a sensibilidade para aqueles estímulos permitindo melhores discriminações. No entanto, na experiência 2 não houve tantas diferenças entre a taxa de acertos quando o estímulo correto estava na área de cima e quando estava na área de baixo, comparativamente à experiência 1, parecendo ter diminuído a preferência pela área de baixo. Esta diminuição pode ter-se devido ao facto de que os círculos são uniformes e mais simples, não havendo áreas maiores ou menores onde seria mais provável escolherem para bicar.

O objetivo principal desta experiência era estudar como é representada internamente a percepção de velocidade nos pombos. Partimos da hipótese que esta seria melhor representada linearmente pela simplicidade do modelo comparativamente a outros. Das três análises realizadas: ajustamento a uma função sigmóide, regressão linear, e análise de resíduos; todas indicaram que o modelo linear descreve bem os dados obtidos na tarefa de discriminação dos pombos. Para além disso, numa comparação dos resíduos do modelo linear com o modelo logarítmico constatámos que o último produz mais resíduos e uma distribuição dos dados menos uniforme, com vários valores a afastarem-se da linha de 0 resíduos. Em estudos anteriores, realizados com o objetivo de estudar a codificação da velocidade em humanos e primatas foi encontrado por vários autores (Zanker, 1995; Nover, Anderson, & DeAngelis, 2005) que a percepção da velocidade é melhor representada logaritmicamente, no entanto esta experiência demonstrou que os pombos representam a velocidade de maneira diferente dos humanos, tendo uma representação linear.

No presente estudo concluímos que a percepção de velocidade em pombos era melhor representada linearmente. A questão seguinte é se esta percepção obedece à lei de Weber.

3. Experiência 3

a. Objetivo

A experiência 3 teve por objetivo estudar se a percepção de velocidade em pombos obedece à lei de Weber. Estudos com humanos têm apontado para a existência de invariância escalar na percepção de velocidade (Nakayama & Tyler, 1981; McKee & Nakayama, 1984; Orban, de Wolf, & Maes, 1984; De Bruyn & Orban, 1988). Para estudarmos a possibilidade de uma invariância escalar realizámos uma experiência onde utilizámos uma faixa de velocidades diferente da usada nas experiências 1 e 2.

b. Método

i. Participantes

Os participantes usados nesta experiência foram os mesmos usados nas experiências 1 e 2.

ii. Materiais

Os materiais usados nesta experiência foram os mesmos usados nas experiências 1 e 2.

iii. Estímulos

Os estímulos usados nesta experiência foram os mesmos usados na experiência 2, excepto a velocidade dos estímulos. Nesta experiência os estímulos eram o dobro mais rápidos do que os usados na experiência 2. A velocidade de referência para a tarefa de correspondência era de 10cm/seg, e as outras velocidades eram 0.4cm/seg, 2cm/seg, 4cm/seg, 6cm/seg, 8cm/seg, e 10cm/seg.

iv. Procedimento

Linha de base: A linha de base desta experiência foi similar à linha de base da experiência 1, com exceção dos estímulos usados (círculos em vez de PLW) e das velocidades usadas (velocidades duas vezes mais rápidas do que nas experiências 1 e 2). O S+ movia-se a 10cm/seg e o S- a 0.4cm/seg.

Teste: Tal como no procedimento da linha de base, o teste era similar ao usado nas experiências anteriores, excepto os estímulos usados, e a velocidade dos estímulos. Um círculo movia-se à velocidade de referência, 10cm/seg, enquanto o outro estímulo podia mover-se a 2cm/seg, 4cm/seg, 6cm/seg, 8cm/seg ou 10cm/seg.

c. Resultados

Como já referido, nesta experiência pretendemos estudar a propriedade escalar da percepção de velocidade em pombos. Para isso, elaborámos uma experiência similar à anterior mas com velocidades o dobro mais rápidas. Assim, comparando os dados obtidos nas duas experiências somos capazes de tirar conclusões.

Na linha de base da experiência, os pombos aprenderam automaticamente as novas contingências experimentais e tiveram uma taxa de 90% de acertos a partir da primeira sessão. Apenas foram necessárias 5 sessões para atingir o critério de aprendizagem.

Na Figura 7 estão representadas as funções psicométricas para cada pombo da fase de teste das experiências 2 e 3. Os pontos pretos representam a discriminação 0.2cm/seg vs. 5cm/seg e os pontos brancos a discriminação 0.4cm/seg vs 10cm/seg. A probabilidade de escolher o estímulo de cima foi traçada em função da diferença de velocidade codificada de 1 a 11. A diferença de velocidade foi codificada para que ambas as funções possam ser comparadas sob a mesma escala. Assim, uma diferença de 1 equivale a uma diferença de -4.8cm/seg na experiência 2 e -9.6cm/seg na experiência 3; uma diferença de 11 equivale a uma diferença de velocidade de 4.8cm/seg na experiência 2 e 9.6cm/seg na experiência 3 e; uma diferença codificada de 6 significa que ambos os estímulos se moviam à velocidade de referência, 5cm/seg na experiência 2 e 10cm/seg na experiência 3.

Como podemos observar pelos gráficos, as funções psicométricas adquiridas durante a experiência 3 têm um padrão particular. À semelhança do padrão encontrado nas funções psicométricas da experiência 2, na experiência 3 inicialmente há uma probabilidade de escolher o estímulo de cima perto de zero atingindo, nas diferenças de velocidade mais elevadas, uma a probabilidade de escolher o estímulo de cima muito próxima de 1. No entanto, no meio da função, quando as diferenças de velocidade são menores, ao contrário do que acontece na experiência 2 em que a probabilidade de escolher o estímulo de cima aumenta progressivamente, na experiência 3 observa-se uma estabilização, com pouca variabilidade na probabilidade de escolher o estímulo de “cima”. Observa-se também que os pombos, na experiência 3 demonstram menor probabilidade do que na experiência 2 de escolher o estímulo mais rápido em diferenças de velocidade intermédias.

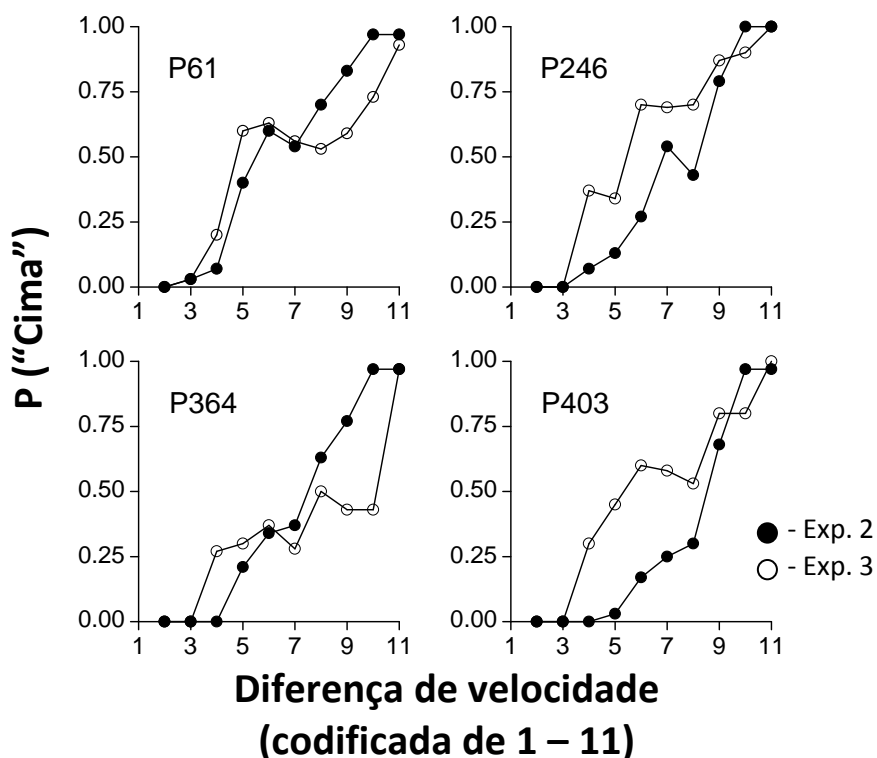


Figura 7. Funções psicométricas obtidas durante os testes de generalização da experiência 2 e 3 para cada pombo. A curva traçada a pontos pretos representa a função obtida durante a experiência 2 e a curva traçada a pontos brancos representa a função obtida durante a experiência 3. A probabilidade de escolher o estímulo de cima foi traçada em função da diferença de velocidade codificada de 1 a 11.

No que concerne a análise da propriedade escalar, podemos observar pelos gráficos que não existe qualquer sobreposição entre as funções obtidas durante as experiências 2 e 3. A sobreposição das curvas quando colocadas sob a mesma escala é uma condição fundamental para que se conclua que a dimensão obedece à lei de Weber. Para além disso, como podemos observar pelos pontos de bissecção obtidos durante a experiência 3 (ver Tabela 3), estes são bastante superiores aos obtidos durante a experiência 2, mesmo quando divididos por dois.

Tabela 3. Ponto de bissecção para cada pombo no teste da experiência 3. O ponto de bissecção foi calculado a partir da média das diferenças de velocidade absolutas de $P(\text{Cima}) = 0.25$ e $P(\text{Cima}) = 0.75$.

Pombo	P ("Cima")		Ponto de bissecção
	P=.25	P=.75	
P61	5.75	6.17	5.96
P246	6.64	2.60	4.62
P364	6.13	7.19	6.66
P403	6.33	3.63	4.98

De modo a analisar mais profundamente as diferenças entre os resultados obtidos nas experiências 2 e 3 realizámos uma análise da diferença dos perfis (ver Figura 8). Nos gráficos da Figura 8 estão representadas as diferenças entre a probabilidade de escolher “cima” na experiência 3 e a probabilidade de escolher “cima” na experiência 2 em função da diferença de velocidade codificada de 1 a 11. A linha ao longo do 0 indica os pontos onde não existem diferenças entre os perfis.

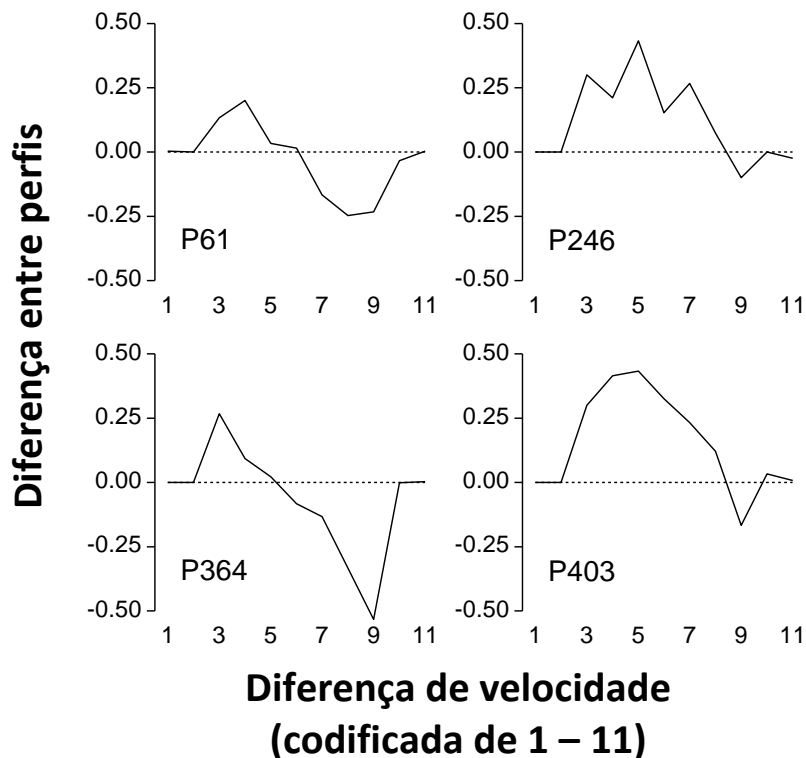


Figura 8. Diferença entre perfis das funções psicométricas das experiências 2 e 3. A diferença entre a probabilidade de escolher “cima” na experiência 3 e a probabilidade de escolher “cima” na experiência 2 estão traçadas em função da diferença de velocidade codificada de 1 a 11.

Como demonstra o gráfico, nas diferenças de velocidade maiores não existe diferenças entre os dados da experiência 3 e a experiência 2. No entanto, nas diferenças de velocidade intermédias, as curvas raramente se sobrepõem, e demonstram grandes diferenças indo, em certos pontos, até uma diferença na probabilidade de escolher “cima” de 0.50. Para além disso, é claro um padrão: a curva mantém-se inicialmente acima do zero e quando passa para valores abaixo do 0 mantém-se sem voltar a ter valores positivo. Quando o estímulo mais rápido se encontrava na posição de baixo todos os pombos revelaram maior probabilidade de bicar no estímulo de cima na experiência 3 do que na 2, e quando o estímulo de cima se encontrava na posição de cima, os pombos na experiência 3 revelaram menor probabilidade de escolher o estímulo de cima. Este padrão demonstra que em geral os pombos fizeram mais erros na experiência 3 do que na 2, revelando maior dificuldade em discriminar diferenças de velocidade intermédias com uma faixa de velocidades mais rápida.

Para testar se as curvas obtidas pelas duas experiências são estatisticamente diferentes usamos um *runs test* para aleatoriedade, que é um teste não-paramétrico que permite testar a hipótese dos elementos de uma sequência serem mutuamente independentes. Na Tabela 4 podemos ver o valor do *runs-test* para cada pombo.

Tabela 4. Análise estatística *runs test* para cada pombo. O teste avalia se as diferenças entre as duas experiências são estatisticamente significativas.

Teste de corridas para diferenças abaixo ou acima da mediana

Pombo	Mediana	Runs test	
		SRS	P-valor
P61	0,003	-0,67	0,50
P246	0,074	-2,22	0,03
P364	0,000	-1,04	0,30
P403	0,121	-2,22	0,03

SRS = Estatística padronizada de corridas (standardized runs statistics)

Como podemos observar na Tabela, em dois pombos (P246 e P403) o teste não rejeita a hipótese nula de que os dados das duas experiências são independentes ($p=0.03$), indicando que as duas funções psicométricas são diferentes. No entanto em dois pombos (P61 e P364) o teste não é significativo ($p=0.50$ para o P61 e $p=0.30$ para o pombo 403), indicando que os dados das duas funções psicométricas possam não ser diferentes.

d. Discussão

Na experiência 3 tínhamos por objetivo, comparando as funções obtidas durante a experiência 2 com a experiência 3, verificar se a percepção de velocidade em pombos obedece à propriedade escalar.

A função da experiência 3 revelou uma forma diferente da função da experiência 2, com uma assíntota encontrada nas diferenças de velocidade menores, apesar da boa discriminação das diferenças de velocidade maiores. Na experiência 3 foram duplicados os valores das velocidades estudadas nas experiências 1 e 2, tornando assim as velocidades ainda mais rápidas. O que pode explicar esse “efeito de teto” encontrado em diferenças de velocidade pequenas é o facto de podermos estar numa zona de limiar de percepção dos pombos; os estímulos passam tão rapidamente e têm uma diferença de velocidade tão pequena que os pombos parecem não perceber as diferenças e bicam ao acaso.

Como já referido, os estudos de percepção de velocidade com humanos têm indicado que existe invariância escalar. No entanto, os resultados obtidos nas experiências 2 e 3 indicam que, pelo menos com os pombos, não existe invariância escalar; não há sobreposição das duas funções quando colocados sob a mesma escala e são notórias as diferenças de perfis entre a experiência 3 e 2. Uma análise estatística conduzida para

detectar se as diferenças entre as duas funções são estatisticamente significativas revelou em dois pombos que as duas funções são de facto diferentes mas nos outros 2 pombos não revelou diferenças estatisticamente significativas. No entanto, estes valores não-significativos podem ser devidos ao facto de haver relativamente poucas observações, apenas onze pontos de observação, que não são suficientes para que o teste seja forte.

4. Discussão geral

Como já foi amplamente discutido na introdução, a percepção da velocidade constitui uma característica fundamental tanto para humanos como animais. A compreensão de como essa percepção funciona tem evidentemente grande importância, tanto pelo seu interesse científico como pela sua aplicabilidade, nomeadamente em áreas como a prevenção rodoviária e a aviação. Para estas áreas é fundamental compreender como é percebida a velocidade, como é codificada e que características tem.

Na presente tese tivemos por objetivo estudar por um lado a função psicométrica de discriminação de velocidade e por outro estudar a escalas da percepção da velocidade, assim como a propriedade escalar.

As três experiências permitiram-nos estudar a função psicométrica da discriminação de velocidade. Constatámos que em discriminações usando velocidades entre os 0.2cm/seg e os 5cm/seg os pombos são capazes de discriminar diferenças de velocidade de no mínimo 1.92cm/seg mas que podem conseguir discriminar diferenças de velocidade de 0.65cm/seg. Concluímos que o treino pode influenciar a capacidade de discriminação, sendo que a discriminação melhora com a exposição ao estímulo. Diferenças de velocidade inferiores a 4cm/seg, usando uma faixa de velocidades entre os 0.4cm/seg e os 10cm/seg parecem bastante difíceis de discriminar, revelando acertos ao nível do acaso e afectando a forma da função psicométrica. Estes dados vão em geral de encontro a dados obtidos anteriormente, que sugerem que a faixa de velocidade entre os 0.6cm/seg e 2.41cm/seg estão próximas do limiar superior de discriminação do pombo e que usando estas velocidades os pombos são capazes de discriminar diferenças de velocidade de 1.74cm/seg (Mulvanny, 1978).

No que concerne o estudo da escala da percepção da velocidade pretendíamos estudar por um lado como é representada internamente a velocidade, se é linearmente ou logaritmicamente, e por outro se a percepção da velocidade obedece, como outras dimensões, à lei de Weber que sugere invariabilidade escalar.

Na experiência 2, onde obtivemos uma função psicométrica normal, estudámos como é codificada a velocidade. Através de várias análises testámos as previsões do modelo linear. Verificámos que os dados obtidos pelos pombos se ajustam bem a uma função sigmóide prevista pelo modelo linear; executando uma análise de regressão linear, em que fizemos uma transformação linear dos dados, observámos que os dados se ajustam a uma reta e, por fim, conduzimos uma análise de resíduos que comparou as previsões do modelo linear e do modelo logarítmico e concluímos que os dados se ajustam melhor ao modelo linear do que logarítmico. Estes dados contrariam os dados encontrados na literatura da percepção de velocidade em humanos e primatas, que sugerem que a percepção da velocidade é codificada logaritmicamente.

Na experiência 3 estudámos se a percepção da velocidade, tal como outras dimensões psicológicas obedece à lei de Weber. Para isso realizámos uma experiência em que usámos velocidades o dobro mais rápidas do que nas experiências 1 e 2 e comparámos as funções. Uma das características que indica que uma dimensão obedece à lei de Weber é que quando duas funções com valores diferentes são colocadas sob a mesma escala, estas se sobreponham. Na nossa experiência, observámos que as funções não só não se sobrepõem como têm formas diferentes. Uma análise dos perfis das duas funções permitiu-nos confirmar que efectivamente as duas funções são diferentes e apresentam formas distintas.

Podemos concluir que, pelo menos com pombos e com as faixas de velocidades usadas, a percepção de velocidade é codificada linearmente mas não parece obedecer à propriedade escalar. No entanto dada a utilização de velocidades bastante elevadas, que como vimos, os pombos são incapazes de perceber, sugerimos que seja feito um estudo semelhante usando velocidades mais baixas.

III – Referências

- Aarons, L. (1964). Visual apparent movement research: Review, 1935-1955, and bibliography, 1955-1963. *Perceptual and Motor Skills, 18*, 239-274.
- Ahmed, I. J., Lewis, T. L., Ellemberg, D., & Maurer, D. (2005). Discrimination of speed in 5-year-olds and adults: Are children up to speed? *Vision research, 45*, 2129-2135.
- Anstis, S. M. (1980). The perception of apparent movement. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, 290*, 153-168.
- Bischof, W., Reid, S., Wylie, D., & Spetch, M. (1999). Perception of coherent motion in random dot display by pigeons and humans. *Perception and Psychophysics, 61*(6), 1089-1101.
- Booth, J. L., & Siegler, R. S. (2006). Developmental and individual differences in pure numerical estimation. *Developmental Psychology, 41*, 189-201.
- Braddick, O. J. (1980). Low level and high level processes in apparent motion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B, 290*, 137-151.
- Brannon, E. M., Wusthoff, C. J., Gallistel, C. R., & Gibbon, J. (2001). Numerical subtraction in the pigeon: Evidence for a linear subjective number scale. *Psychological Science, 12*, 238-243.
- Brown, G. D., McCormack, T., Smith, M., & Stewart, N. (2005). Identification and bisection of temporal durations and tone frequencies: Common models for temporal and non-temporal stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31* (5), 919-938.
- Burr, D., & Thompson, P. (2011). Motion psychophysics: 1985-2010. *Vision Research, 51* (13), 1431-1456.
- Cavanagh, P. (1991). Short-range vs long-range motion: not a valid distinction. *Spatial Vision, 5* (4), 303-309.
- Cavanagh, P., & Mather, G. (1989). Motion: The long and short of it. *Spatial Vision, 4* (2), 103-129.

- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *3*, 216-228.
- Cook, R., & Katz, J. (1999). Dynamic object perception by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *25* (2), 194-210.
- Cook, R., Shaw, R., & Blaisdell, A. (2001). Dynamic object perception by pigeons: Discriminations of action in video presentations. *Animal Cognition*, *59*, 137-129.
- De Bruyn, B., & Orban, G. A. (1988). Human velocity and direction discrimination measured with random dot patterns. *Vision Research*, *28*, 1323-1335.
- Dehaene, S. (2001). *The cognitive neuroscience of consciousness*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Dehaene, S. (2003). The neural basis of the Weber–Fechner law: A logarithmic mental number line. *Trends in Cognitive Sciences*, *7* (4), 145-147.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*, 1-42.
- Dehaene, S., Izard, V., Spelke, E., & Pica, P. (2008). Log or Linear? Distinct Intuitions of the Number Scale in Western and Amazonian Indigene Cultures. *Science*, *320* (5880), 1217-1220.
- Dekeyser, M., Verfaillie, K., & Vanrie, J. (2002). Creating stimuli for the study of biological-motion perception. *Behaviour Research Methods Instruments & Computers*, *34*, 375-382.
- Dittrich, W. H., & Lea, S. (2001). Motion discrimination and recognition. In R. Cook (Ed.), *Avian visual cognition* [online]. Disponivel em: www.pigeon.psy.tufts.edu/avc/dittrich/.
- Dittrich, W. H., Lea, S., Barrett, J. C., & Gurr, P. (1998). Categorization of natural movement by pigeons: visual concept discrimination and biological motion. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, *70* (3), 281-299.
- Emmerton, J. (1990). Pigeon's perception of complex movement patterns. In M. Commons, R. Herrnstein, S. Kosslyn, & D. Mumford. *Behavioral approaches to pattern recognition and concept formation* (pp. 67-87). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Emmerton, J. (1986). The pigeon's discrimination of movement patterns (lissajous figures) and contour-dependent rotation invariance. *Perception*, *15*, 573-588.
- Emmerton, J., & Renner, J. C. (2006). Scalar effects in the visual discrimination of numerosity by pigeons. *Learning & Behavior*, *34* (2), 176-192.
- Exner, S. (1875). Experimentelle Untersuchung der einfachsten psychischen Process. *Pflugers Archiv für Gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, *11*, 403-432.
- Frost, B. J., & Wylie, D. R. (2000). A common frame of reference for the analysis of optic flow and vestibular information. *International Review of Neurobiology*, *44*, 121-139.
- Frost, B. J., Wylie, D. R., & Wang, Y. C. (1994). The analysis of motion in the visual systems of birds. In M. N. Davies, & P. R. Green (Eds.), *Perception and motor control in birds* (pp. 248-269). Berlin: Springer-Verlag.

- Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1992). Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition*, *44*, 43-74.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, *84*, 279-325.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1981). Time left: Linear versus logarithmic subjective line. *Journal of the Experimental Analysis of Behaviour*, *7*, 87-107.
- Goldstein, E. B. (2007). Perceiving motion. In E. B. Goldstein (Eds.), *Sensation and Perception* (pp. 177-200). Belmont: Wadsworth.
- Goto, K., & Lea, S. (2003). Discrimination of direction of movements in pigeons following previous experience of motion/static discrimination. *Journal of Experimental Analysis of Behavior*, *80*, 29-42.
- Hodos, W., Smith, L., & Bonbright, J. C. (1975). Detection of the velocity of movement of visual stimuli by pigeons. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *25* (2), 143-156.
- Johansson, G. (1976). Spatio-temporal differentiation and integration in visual motion perception. *Psychological Research*, *38*, 379-393.
- Johansson, G. (1973). Visual perception of biological motion and a model for its analysis. *Perception & Psychophysics*, *14*, 201-211.
- Leibowitz, H. W. (1955). The relation between the rate threshold for the perception of movement and luminance for various durations of exposure. *Journal of Experimental Psychology*, *49* (3), 209-214.
- Lu, Z-L., & Sperling, G. (1995). The functional architecture of human visual motion perception. *Vision Research*, *35* (19), 2697-2722.
- McKee, S. P., & Nakayama, K. (1984). The detection of motion in the peripheral visual field. *Vision Research*, *24*, 25-32.
- McKee, S. P., Silverman, G. H., & Nakayama, K. (1986). Precise velocity discrimination despite random variations in temporal frequency and contrast. *Vision research*, *26* (4), 609-619.
- Meso, A. I., & Zanker, J. M. (2009). Speed encoding in correlation motion detectors as a consequence of spatial structure. *Biological Cybernetics*, *100* (5), 361-370.
- Moeller, K., Pixner, S., Kaufmann, L., & Nuerk, H. C. (2009). Children's early mental number line: Logarithmic or de composed linear? *Journal of Experimental Child Psychology*, *103*, 503-515.
- Mulvanny, P. (1978). Velocity discrimination by pigeons. *Vision Research*, *18*, 531-536.
- Nakayama, K. (1985). Biological image motion processing: a review. *Vision Research*, *25* (5), 625-660.
- Nakayama, K., & Tyler, C. W. (1980). Psychophysical isolation of movement sensitivity by removal of familiar position cues. *Vision Research*, *21*, 427-433.
- Nover, H., Anderson, C. H., & DeAngelis, G. C. (2005). A logarithmic, scale-invariant representation of speed in macaque middle temporal area accounts for speed discrimination performance. *The Journal of Neuroscience*, *25* (43), 10049-10060.

- Orban, G. A., de Wolf, J., & Maes, H. (1984). Factors influencing velocity coding in the human visual system. *Vision Research, 24*, 33-39.
- Siegel, R. K. (1971). Apparent movement and real movement detection in the pigeon: Stimulus generalization. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 16*, 189-192.
- Siegler, R. S., & Booth, J. L. (2004). Development of numerical estimation in young children. *Child Development, 75*, 428-444.
- Siegler, R. S., & Opfer, J. E. (2003). The development of numerical estimation: Evidence for multiple representations of numerical quantity. *Psychological Science, 14*, 237-243.
- Sperling, G. (2001). Motion perception models. In N. J. Smelser, & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (pp. 10093-10099). Oxford, UK: Pergamon.
- Sperling, G., & Lu, Z.-L. (1998). A system analysis of visual motion perception. In T. Watanabe (Ed.), *High-level motion processing* (pp. 153-183). Cambridge, MA: MIT Press.
- Stevens, J. A., Fonlupt, P., Shiffrar, M., & Decety, J. (2000). New aspects of motion perception: Selective neural encoding of apparent motion movements. *Neuroreport, 11* (1), 109-115.
- Wertheimer, G. (1912). Experimentelle Studien über das Sehen von Bewegungen. *Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, 61*, 161-265.
- Wilmer, J. B., & Nakayama, K. (2007). Two distinct visual motion mechanisms for smooth pursuit: Evidence from individual differences. *Neuron, 54* (6), 987-1000.
- Zanker, J. M. (1995). Does motion perception follow Weber's law? *Perception, 24*, 363-372.
- Zihl, J., von Cramon, D., & Mai, N. (1983). Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain, 106* (2), 313-340.