

Processamento de informações espaciais e temporais segundo as teorias do mapa cognitivo e memória operacional/ relógio interno

(Spatial and temporal information processing as proposed by cognitive map and working memory/internal clock theories)

Valéria Catelli Infantozzi da Costa¹

¹Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto – Universidade de São Paulo
costaval@terra.com.br

Abstract. *This article revises the main ideas presented by theories voted to the examination of the strategies that make possible the apprehension of time and space by animals. To the cognitive map theory, hippocampal lesioned animals poorly perform spatial and temporal tasks because such tasks are so complex that can only be appropriately accomplished through the mapping system. The counterpoint is given by the working memory/internal clock theory that attribute the incapacity of hippocampal lesioned animals accomplish such tasks to the working memory failure.*

Keywords: *temporal task; spatial task; cognitive map theory; working memory/internal clock theory.*

Resumo. *Efetua-se a revisão das teses básicas de teorias votadas à exploração das estratégias que possibilitariam a animais a apreensão do tempo e do espaço. Para a teoria do mapa cognitivo espacial, animais privados de seu sistema hipocampal apresentariam prejuízos em tarefas espaciais e temporais pois tais tarefas, dada sua complexidade, só podem ser adequadamente realizadas por meio do sistema de mapeamento. O contraponto é dado pela teoria da memória operacional/relógio interno para a qual a incapacidade de animais hipocampais realizarem tais tarefas decorre do prejuízo do processamento de informações na memória operacional.*

Palavras-chave: *tarefa temporal; tarefa espacial; teoria do mapa l cognitivo; teoria da memória operacional/relógio interno.*

1. Representação do Ambiente

Investigações experimentais concernentes ao comportamento animal sugerem que os organismos são capazes de adquirir informações acerca de aspectos do ambiente e de seus próprios atos, de tal forma a registrar e conservar em forma codificada, em seu Sistema Nervoso Central (SNC), eventos relevantes. O registro, ou a informação codificada, seria a representação da realidade externa no SNC. Além disso, o SNC teria a capacidade de lidar com abstrações básicas, tais como espaço, tempo e números (Gallistel, 1989).

A Representação do Espaço: A navegação é um processo comportamental fundamental para qualquer animal que, partindo de um ponto fixo do ambiente, retorne a ele. O estabelecimento de um curso requer uma representação espacial; um mapa cognitivo é, por sua vez, a representação, no sistema nervoso, das posições relativas de locais do meio ambiente. Este mapa permite ao animal orientar-se com respeito a determinada direção (aproximação ou afastamento).

A Representação do Tempo: A capacidade de ratos e pombos de lembrarem-se da duração de estímulos – ou, a habilidade destes animais de aprenderem a ocorrência de intervalos temporais – tem sido largamente estudada (Church & Broadbent, 1990; Meck, 1983; Meck, Church, Wenk & Olton, 1987; Olton, 1986). Em tais trabalhos encontram-se evidências experimentais da existência, no SNC de aves e roedores, de processos de mensuração do tempo, os quais permitem aos animais armazenar variáveis representativas de intervalos de tempo.

2. Teoria do Mapa Espacial Cognitivo - O'Keefe e Nadel, 1978

A teoria do mapa cognitivo (O'Keefe e Nadel, 1978) concentra-se nos aspectos espaciais do ambiente como sendo atributos críticos da memória. Conforme esta teoria, os animais são capazes de fixar relações espaciais entre objetos e de relacionar eventos com o contexto espacial. Existiria, assim, um sistema apto a codificar o ambiente em mapas cognitivos; ademais, segundo a proposta dos autores, a Formação Hipocampal constituiria o substrato neural para a aprendizagem e armazenamento desses processos. Como propugnado pela teoria em apreço, as informações seriam processadas em dois sistemas distintos: o sistema de taxon e o de mapeamento.

Sistema de Taxon: As estratégias baseadas neste sistema foram chamadas por seus autores como estratégias de rotas. Estas estratégias ou hipóteses subdividem-se em dois grupos: hipóteses de guiamento e hipóteses de orientação. Ademais, elas dependem de diferentes estruturas cerebrais. As hipóteses de guiamento identificam, no ambiente, um objeto ou uma pista da qual o animal deve aproximar-se ou afastar-se. Exemplos apontados pelos autores para essa forma de processamento: "ir para a luz", "seguir aquele carro". Neste caso, os sujeitos não precisam estabelecer relações espaciais entre objetos e eventos, eles orientam-se em direção a uma pista específica. As hipóteses de orientação (orientação corpórea ou estratégia corpórea egocêntrica) especificam o comportamento motor em detalhes. Elas envolvem rotações corpóreas egocêntricas em resposta a uma pista ou informação. Os animais orientam-se a partir de informações egocêntricas e aprendem uma seqüência de movimentos do corpo. Exemplos: "virar para a direita 90° (sentido do relógio em relação ao eixo corpóreo)", "olhar para a esquerda 15°".

Sistema Hipocampal de Mapeamento: Neste sistema, são processadas as hipóteses de lugar cujas propriedades são bastante diferentes das hipóteses de taxon. Segundo a teoria do mapa cognitivo, locais e espaços não existem no mundo físico, mas são noções construídas pelo cérebro no sentido de organizar as entradas sensoriais. Assim, os organismos construiriam mapas espaciais do ambiente. Os mapas seriam utilizados pelos animais para se localizarem no ambiente, localizarem itens (ou eventos) neste ambiente, incluindo recompensas e punições (por exemplo: local A = alimento, local B = choque), ou ainda, para se locomoverem de um local para outro por qualquer rota disponível. Exemplos oferecidos pelos autores sobre a hipótese de lugar: "este é um ambiente perigoso", "há um local seguro neste ambiente perigoso", "ir para o local A para obter água".

O'Keefe e Nadel (1978) desenvolveram considerações detalhadas acerca dos efeitos de lesões hipocampais no comportamento animal e sobre a mais importante predição de sua teoria, qual seja: os efeitos comportamentais causados por lesões do sistema hipocampal refletiriam uma perda da aprendizagem de lugar; vale dizer: perda da capacidade de utilização do sistema de mapeamento. Como avançado, a hipótese por guiamento envolve a aproximação ou afastamento de uma pista específica, enquanto a hipótese por orientação especifica uma rotação egocêntrica. Por outro lado, o sistema de mapeamento torna disponíveis às outras partes do cérebro as representações de lugares que podem ser utilizadas

na solução de problemas. Se um animal está faminto, o mapa do ambiente no qual ele se encontra deve ser consultado para verificar se há uma representação de alimento naquele ambiente. Se houver, o mapa será usado para gerar um programa motor, o qual levará o animal da sua posição atual no mapa para a localização do alimento. Os animais resolvem essa e muitas outras tarefas mediante uma ou mais estratégias. Conseqüentemente, os animais privados do seu hipocampo – e, assim, do seu sistema de mapeamento – sendo incapazes da utilização da hipótese de lugar, solucionariam a tarefa baseados nas outras duas hipóteses: guiamento e/ou orientação. Nas tarefas em que a hipótese de lugar parece ser exclusiva ou preferencialmente utilizada por animais normais, os autores prevêm deficiências nos animais lesados. Quando outras hipóteses predominam ou são igualmente úteis, não deve haver prejuízo ao desempenho dos animais lesados no hipocampo. Por outro lado, existem tarefas nas quais certos conflitos têm de ser resolvidos com base na utilização da hipótese de lugar. Nestes casos, os animais lesados, para os quais apenas as outras estratégias estariam disponíveis, não alcançariam um desempenho adequado na tarefa.

3. Teoria da Memória Operacional/Relógio Interno

Para Olton (1990), em toda aprendizagem há dois tipos de memória a organizar as informações. Como sugere, o contexto específico de uma situação é codificado na memória operacional; ela consiste em um processo mnemônico responsável pela codificação de informações acerca do contexto temporal no qual o evento ocorre, distinguindo um instante dentro de um conjunto de eventos. Em contraste, a memória de referência é o processo mnemônico responsável pela codificação das informações que não requerem associações com o contexto temporal; vale dizer, na memória de referência as associações aprendidas independem do contexto temporal e podem ser utilizadas a qualquer momento dependendo dos aspectos não temporais do contexto (Kesner, 1986; Olton, 1990).

Olton e colaboradores (Olton, 1990; Meck, Church & Olton, 1984) propõem que o hipocampo e suas interconexões mediam a memória operacional, enquanto algum outro sistema, como o neocórtex, mediará a memória de referência. Vários experimentos nos quais se efetuaram lesões de estruturas do sistema hipocampal e/ou seus eferentes e aferentes sugerem o envolvimento da formação hipocampal com a memória operacional e não com a memória de referência, independentemente das informações envolvidas no contexto experimental serem temporais ou espaciais. Além disso, Church e Broadbent (1990) elaboraram um modelo de processamento de informações temporais segundo o qual o organismo possuiria um mecanismo análogo a um relógio, que lhe permitiria a discriminação de intervalos temporais e a associação de tais lapsos aos eventos vivenciados pelo organismo independentemente dos comportamentos desenvolvidos nos distintos intervalos. Essas informações – associação dos eventos com o contexto temporal no qual eles ocorreram – seriam registradas e armazenadas na memória operacional e/ou na memória de referência. Um modelo de processamento de informações temporais contém: (1) marca-passo, (2) interruptor e acumulador, (3) memória operacional, (4) memória de referência e (5) comparador. O número de pulsos armazenados na memória operacional ou na memória de referência é o número de pulsos que estava no acumulador no momento do reforço, multiplicado por uma constante de memória K^* . As decisões são baseadas na similaridade do valor do acumulador e um valor armazenado na memória operacional ou na memória de referência (ver também Matell & Meck, 2000 e Wearden & Bray, 2001). Em resumo, segundo a teoria da memória operacional e do relógio interno, o sistema hipocampal estaria diretamente envolvido na memória operacional – temporal ou espacial – embora não seja requerido pela memória de referência (Meck e cols., 1987; Markowaska, Olton, Murray & Gaffan, 1989).

Tendo presente o acima exposto, passemos ao exame das tarefas espaciais e temporais no contexto da teoria do mapa cognitivo e no da teoria da memória operacional/relógio interno.

4. Tarefas Espaciais

As deficiências encontradas em animais hipocampais em tarefas de discriminação condicional espacial, como uma tarefa de não-coincidência de local (NMTP), em um labirinto em T ou Y, segundo O'Keefe e Nadel (1978), refletem a inabilidade dos animais em distinguirem entre vários eventos (pistas ou objetos) idênticos, somente em termos da sua localização espacial. Em uma tarefa de NMTP os animais, na fase de informação, aprendem que o LOCAL A está associado ao reforço (alimento), enquanto na fase de escolha o LOCAL B está associado ao reforço e o LOCAL A associa-se ao não-reforço. Neste caso, um evento – reforço – mostra-se associado a diferentes locais do ambiente (locais A e B); os animais hipocampais não dispoem do sistema de mapeamento, teriam dificuldades para solucionar tal problema. Além disso, em um momento (fase de informação), o LOCAL A está associado ao reforço e em outro momento (fase de escolha) o mesmo LOCAL A viu-se associado ao não-reforço. Neste caso, um mesmo local, tem valores (significado, informação) diferentes – ora é um local de reforço, aproximação, ora é um local a ser evitado, pois não é reforçado. Mais uma vez os animais hipocampais desprovidos do seu sistema de mapeamento têm dificuldades para resolver a ambigüidade que lhes foi posta. Mesmo estando disponível aos animais hipocampais o sistema de taxon, as estratégias de guiamento ou orientação não são bastantes para resolver adequadamente a distinção entre um evento (reforço) que ocorre em dois locais distintos (A e B). Estas estratégias também são insuficientes para resolver a ambigüidade da ocorrência de diferentes efeitos, reforço e não-reforço em um mesmo local (ver Costa, Bueno & Xavier, 2005 para uma discussão mais detalhada desta questão).

Segundo Olton e colaboradores (Olton, 1990; Meck e cols., 1984) a tarefa de NMTP realizada em um labirinto é considerada uma tarefa típica; nela os animais, para realizarem a tarefa adequadamente, processam as informações na memória operacional. Neste caso, os animais precisam armazenar na memória operacional a informação sobre o local do labirinto onde se encontrava o reforço obtido na fase de informação. Na fase de escolha, os animais precisam recuperar essa informação da memória operacional para decidirem onde se localiza, nesta fase, o reforço. Em outras palavras, a resposta adequada ao momento $t+1$ depende da informação obtida em um momento anterior (t), e esta informação varia de tentativa para tentativa. Esse processamento, segundo a teoria, realiza-se na memória operacional. Os animais hipocampais apresentariam um prejuízo de desempenho nesta tarefa, pois estão impossibilitados de processar informações na memória operacional (ver Costa e cols., 2005 para uma discussão mais minuciosa).

5. Tarefas Temporais

A tarefa temporal de reforçamento diferencial de baixas taxas (DRL) caracteriza-se pela liberação de um reforço apenas quando uma resposta (por exemplo, pressão na barra) é espaçada por, no mínimo, um período de tempo fixado pelo experimentador. Caso a resposta ocorra em um lapso temporal inferior ao fixado, o tempo é zerado, reiniciando-se a contagem. Já na tarefa temporal de intervalo fixo (FI), o reforço é liberado na primeira pressão sobre a barra após determinado período de tempo ter transcorrido da última liberação do reforço; neste caso, se a resposta ocorrer antes do lapso de tempo fixado não é este último zerado. Estas duas tarefas requerem dos sujeitos a capacidade de discriminar intervalos de tempo.

O'Keefe e Nadel (1978) não apóiam a idéia de que tempo e espaço tenham o mesmo status; pensam eles ser improvável que animais, como ratos ou pombos, sejam capazes de contar o tempo. A explicação mais razoável para o fato de tais animais mostrarem-se capazes de resolver tarefas temporais, tais como os esquemas de FI e de DRL, encontrar-se-ia na utilização de comportamentos como um relógio externo: após um dado número de comportamentos, o animal retorna à barra. O uso de comportamentos como relógio externo possibilita aos animais realizarem, muito eficientemente, uma avaliação (ou estimativa) do intervalo de tempo quando seu sistema de mapeamento está intacto. Assim, um mesmo evento (comportamento A) pode ser realizado em diferentes locais do ambiente (no caso, a caixa de Skinner), ou podem ser realizados, diferentes comportamentos, em um mesmo local da caixa. No caso da DRL, a ambigüidade: barra = não-reforço durante o intervalo e barra = reforço no tempo x, precisa ser resolvida por meio do sistema de mapeamento. Contudo, o desenvolvimento e a eficiência desses comportamentos tornam-se prejudicados quando o sistema de mapeamento não está disponível. Neste caso, os animais precisam desenvolver uma estratégia de guiamento ou orientação para utilizarem adequadamente os comportamentos como relógio externo. Já em um esquema de FI – no qual barra = reforço no tempo x; barra = não-reforço no intervalo –, os animais com lesões no hipocampo conseguiriam utilizar os comportamentos como relógio por meio de outras estratégias.

Entretanto, tais estratégias não seriam tão eficientes quanto a hipótese de lugar. Isto é observado quando se analisam os resultados de animais lesados os quais, em uma tarefa de FI, conseguem desenvolver comportamentos para contarem o intervalo de tempo; porém, esta estratégia não é tão eficiente, provocando uma subestimativa do intervalo de tempo. Ou seja, os animais respondem com intervalos de tempo menores do que o tempo transcorrido de fato (por exemplo: se os animais tivessem de responder com intervalos de 20 s para serem reforçados, passam eles a responder com intervalos de 16 s). A menor eficiência do uso dos comportamentos como relógio por meio do sistema de taxon em substituição ao sistema de mapeamento resultaria em um desempenho pior dos animais em uma tarefa de DRL comparado ao desempenho apresentado em uma tarefa de FI. Isso ocorreria porque o esquema de DRL é mais complexo: enquanto em FI o fato de o animal pressionar a barra antes do intervalo correto não acarreta nenhuma punição, em DRL; se isso ocorrer, o animal é punido, pois o tempo de intervalo de reforçamento é postergado. Assim, em DRL tem-se: tempo x: barra = reforço, aproximação do local da barra; intervalo: barra = punição, local da barra deve ser evitado. Como já foi visto, o animal que não possa dispor de seu sistema de mapeamento intacto e esteja utilizando uma estratégia de guiamento ou orientação tem dificuldade para resolver problemas nos quais um local (barra) apresenta significados diferentes (tempo x-reforço, intervalo-punição). Além disso, antes de serem treinados em DRL, os animais são pré-treinados em um esquema de reforçamento contínuo CRF (1 pressão = 1 reforço). Segundo os autores em tela, as conseqüências desse pré-treino dificultariam aos animais hipocampais encontrarem, durante os treinos em DRL, os comportamentos adequados e fortes o bastante para competirem com a aprendizagem estabelecida durante o treino em CRF: barra = reforço (ver Costa e cols., 2005 para uma discussão mais pormenorizada do tema).

Por outro lado, a teoria da memória operacional/relógio interno apresenta explicações diferentes da proposta por O'Keefe e Nadel (1978). Segundo Meck e colaboradores (Meck e cols., 1987) os resultados obtidos em experimentos com o esquema de DRL apóiam a teoria da memória operacional. A tarefa de DRL diferiria de um esquema de intervalo fixo (FI) na medida em que, em FI, o sujeito deve lembrar-se de um intervalo de tempo, no qual independe do contexto em que ele ocorre; portanto, seria processado pela memória de referência. Por outro lado, em um esquema de DRL, o animal deve espaçar as suas respostas por um intervalo de tempo dependente do contexto. O animal tem de se lembrar quando

ocorreu a última pressão na barra, sendo essa tarefa, portanto, processada na memória operacional e sujeita a prejuízos de desempenho em animais com estruturas hipocâmpais lesadas. Em outras palavras, em um esquema de FI, os animais hipocâmpais conseguiriam realizar a tarefa, pois as informações necessárias seriam processadas na memória de referência e apresentariam uma pequena alteração na memória de referência decorrente de uma diminuição do valor da constante K^* de memória. Por outro lado, os autores interpretam o prejuízo em uma tarefa de DRL como sendo devido a uma deficiência na memória operacional e não a uma deficiência no relógio interno ou velocidade de armazenamento (Olton, 1990; Meck e cols., 1987; ver Costa e cols., 2005 para uma discussão mais minuciosa).

6. Considerações Finais

Em suma, segundo a teoria do mapa cognitivo espacial, animais privados de seu sistema hipocâmpal perderiam a capacidade de utilizar estratégias de lugar (sistema de mapeamento) restando-lhes apenas a utilização das estratégias de guiamento ou orientação (sistema de taxon). Conseqüentemente, tais animais apresentariam prejuízos em tarefas espaciais e temporais; tarefas que, por sua complexidade, só podem ser adequadamente realizadas por meio do sistema de mapeamento. Segundo a teoria da memória operacional/relógio interno, os animais hipocâmpais não são capazes de realizar uma tarefa de discriminação condicional espacial e uma tarefa temporal de DRL, pois essas tarefas requerem a utilização da memória operacional, a qual se encontraria prejudicada pela lesão do sistema hipocâmpal.

7. Referências

- CHURCH, R.M. & BROADBENT, H.A. (1990). Alternative representations of time, number and rate. *Cognition*, 37, 55-81.
- COSTA, V.C.I., BUENO, J.L.O. & XAVIER, G.F. (2005). Dentate gyrus-selective colchicine lesion and performance in temporal and spatial tasks. *Behavioural Brain Research*, 160, 286-303.
- GALLISTEL, C.R. (1989). Animal Cognition: The Representation of Space, Time and Number. *Annual Review Psychology*, 40, 155-189.
- KESNER, R.P. (1986). Neurobiological Views of Memory. In: MARINEZ J.R., J.L.; KESNER, R.P., eds. *Learning and Memory. A Biological View*. San Diego, Academic Press, 399-438.
- MARKOWASKA, A.L., OLTON, D.S., MURRAY, E.A. & GAFFAN, D. (1989). A comparative analysis of the role of fornix and cingulate cortex in memory: rats. *Experimental Brain Research*, 74, 187-201.
- MATELL, M.S. & MECK, W.H. (2000). Neuropsychological mechanisms of interval timing behavior. *Bioessays*, 22(1), 94-103.
- MECK, W.H., CHURCH, R.M., WENK, G.L. & OLTON, D.S. (1987). Nucleus basalis magnocellularis and medial septal area lesions differentially impair temporal memory. *Journal of Neuroscience*, 7, 3505-3511.
- MECK, W.H., CHURCH, R.M. & OLTON, D.S. (1984). Hippocampus, Time, and Memory. *Behavioral Neuroscience*, 98, 3-22.
- O'KEEFE J. & NADEL, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford, Oxford University Press.

- OLTON, D.S. (1990) Mnemonic Functions of the Hippocampus: Past, Present and Future. In: SQUIRE, L.R.; LINDENLAUB, E., eds. *The Biology of Memory: Symposium Bernried, Germany October 15th - 19th, 1989*. Stuttgart, Schattauer Verlag, 427-443.
- WEARDEN, JH & BRAY, S. (2001). Scalar timing without reference memory? Episodic temporal generalization and bisection in humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54B(4), 289-309.