

A CONSCIÊNCIA COMO FRUTO DA EVOLUÇÃO E DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA NERVOSO

Alexandre de Campos, Andréa M. G. dos Santos e Gilberto F. Xavier

*Departamento de Fisiologia
Instituto de Biociências – USP*

Percepções, individualidade, linguagem, idéias, significado, cultura, escolha, moral e ética, todos existem em decorrência da evolução e do funcionamento do sistema nervoso. Teme-se, por vezes, que a concepção da consciência como resultado de um processo biológico corresponda a uma “profanação do espírito humano” com conseqüente abandono do comportamento moral e ético. Na verdade, ao se investigar a consciência como fenômeno natural e não místico, ampliam-se nossas possibilidades de entendê-la, com ganhos científicos, teóricos e sociais, além dos éticos e morais. Discute-se como a evolução por seleção natural e a organização biológica do sistema nervoso permitem explicar as bases da individualidade, da intencionalidade, de representações simbólicas e do significado. Fenômenos observados em pacientes com danos neurológicos reforçam a concepção de funcionamento modular do sistema nervoso; a consciência não seria uma propriedade exclusiva de um módulo único do sistema nervoso, mas fruto do funcionamento sincrônico de diferentes módulos.

Descritores: Consciência. Sistema nervoso. Memória. Distúrbios cerebrais. Percepção.

A consciência é fruto da evolução do sistema nervoso. Portanto, percepções, individualidade, linguagem, idéias, significado, cultura, escolha (ou livre arbítrio), moral e ética, todos existem em decorrência do funcionamento cerebral.

Há, por vezes, receio de que a investigação científica possa levar a uma “desmistificação” da consciência humana. De fato, são inúmeras, e não triviais, as consequências da conceituação da consciência como fenômeno natural. Uma delas, talvez a mais importante, refere-se à percepção que o ser humano tem de si próprio e de seus semelhantes: teme-se que a concepção da consciência como resultado de um processo biológico corresponda a uma “profanação do espírito humano”, com consequente abandono do comportamento moral e ético.

A tese a ser defendida neste trabalho é que, ao se trazer a consciência “de volta para a natureza” e ao se investigá-la como fenômeno natural e não místico, ampliam-se nossas possibilidades de entendê-la, com ganhos científicos, teóricos e sociais, além dos éticos e morais. Será discutido neste trabalho, como a evolução por seleção natural e a organização biológica do sistema nervoso permitem explicar as bases da individualidade, da intencionalidade, de representações simbólicas e do significado. Diversos fenômenos relacionados a consciência serão então discutidos à luz das descobertas que a ciência vem realizando sobre a organização modular do funcionamento cerebral. Entre eles, (1) o fenômeno da “visão-às-cegas” (“blindsight”), em que pacientes com lesões do córtex estriado negam a percepção de estímulos visuais apresentados em seu campo de visão, ao mesmo tempo em que são capazes de desempenhar ações precisas em relação a esses estímulos, inclusive em relação à sua localização espacial; (2) o fenômeno da dissociação entre memória explícita e memória implícita, em que pacientes com danos no lobo temporal medial negam ter vivenciado uma situação de treino em tarefas motoras, perceptuais e cognitivas, ao mesmo tempo que exibem desempenho normal nessas tarefas; e o fenômeno de pré-ativação (“priming”), que ocorre com pessoas normais e envolve um viés ou facilitação do desempenho em função da apresentação prévia do material de teste, sem que a pessoa tenha conhecimento consciente do fato; (3) o fenômeno da negligência unilateral, caracterizado por um notório prejuízo na percepção de uma das metades do espaço egocêntrico em decorrência de lesão contralateral, usualmente acompanhada de anosognosia, i.e., o desconhecimento completo da própria deficiência, independentemente de quão limitante ela

seja; e (4) o fenômeno da dissociação decorrente de comissurotomia (ou desconexão dos hemisférios cerebrais), no qual os pacientes exibem um elaborado processamento de informações apresentadas a apenas um dos hemisférios cerebrais, com comportamentos plenamente adequados às situações apresentadas, acompanhado de uma completa ausência de percepção consciente, por parte do outro hemisfério cerebral, sobre esse processamento. Esses exemplos serão tomados como evidência de que o fenômeno “consciência” não é uma entidade única, mas sim um conjunto de habilidades mediadas pelo processamento paralelo, porém cooperativo, de informações em diferentes módulos do sistema nervoso. Não obstante essa organização modular, o funcionamento cooperativo e integrado dos diferentes módulos produz uma sensação unificada.

A concepção dualista de consciência

O obstáculo mais difícil de se transpor na investigação científica da consciência, talvez esteja relacionado à concepção culturalmente arraigada de que percepções conscientes não podem ser consideradas como fruto do funcionamento do sistema nervoso, sendo a consciência considerada uma entidade distinta deste e que apenas manifesta-se através dessa estrutura.

Parte substancial desse viés dualista deve-se a dogmas que estabelecem uma separação entre o espírito e o corpo.

É difícil saber o quanto esses dogmas, associado ao contexto histórico doutrinário e persecutório da época, influenciaram Descartes a defender a noção de que o indivíduo é constituído da matéria (“*res extensa*”), tal qual definida pela Física, divisível, com dimensões, peso e “funcionamento mecânico”, e da mente (“*res cogitans*”), indivisível, sem dimensões, independente de tempo e espaço, sendo, portanto, intangível. Como em seu livro, “O discurso do método” (1637), Descartes concebe a mente como algo especial, cujas características não possuem espacialidade ou temporalidade nem estão subordinadas às leis físicas, tem-se interpretado que ela não seria passível de investigação objetiva.

A influência dessa doutrina dualista na psicologia expressa-se tanto nas concepções psicanalíticas de mente, quanto na negação taxativa da possibilidade de compreensão dos processos “mentais” defendida pelo “behaviorismo” que advoga a inacessibilidade desses processos ao questionamento científico.

É interessante que Descartes, considerado o pai da filosofia moderna e do método científico, tenha formulado essa conceituação dualista da relação mente/cérebro, promovendo um afastamento dos “fenômenos mentais” da esfera da investigação científica. Mais interessante, no entanto, é que Descartes considerou a interação entre a *res cogitans* e a *res extensa* como necessária; declarou que a interação ocorreria na glândula pineal. Isto é, as informações advindas do mundo exterior chegariam até a glândula pineal e, através de mecanismos desconhecidos, seriam transformadas e transmitidas à mente para serem interpretadas e elaboradas. Que *método* teria usado Descartes para obter evidências a favor dessa obscura formulação? Em seu livro “O erro de Descartes”, Antonio Damásio questiona-se: ao afirmar “*penso, logo existo*”, Descartes não estaria reconhecendo a superioridade da razão e do sentimento consciente, sem compromissos no que se refere à sua origem, substância ou permanência? Isto é, não estaria Descartes afirmando que pensar e ter consciência de pensar é que constituem os verdadeiros substratos da existência?” Damásio (1996) pergunta-se, ainda, se essa famosa frase de Descartes não se constituiu numa estratégia de redação para evitar as fortes pressões religiosas da época. E finaliza referindo-se à inscrição escolhida por Descartes para sua lápide : “*Aquele que se esconde bem viveu bem*”, como uma possível indicação de contestação discreta ao dualismo.

Organização e evolução biológicas

Sistemas biológicos são o produto de um processo histórico altamente peculiar que envolve evolução por seleção natural, sendo essa, na verdade, a origem de sua unicidade. Essa idéia, baseada na formulação

proposta por Charles Darwin, em 1859, se constitui no principal paradigma da biologia (Darwin, 1985).

Do ponto de vista teórico, quando um dado ambiente possui simplicidade e regularidade, portanto previsibilidade, a seleção natural pode favorecer a evolução de um sistema adaptado e otimizado para aquele ambiente. Seria essa afirmação “finalista” e, portanto, a evolução pré-direcionada? A resposta é obviamente não. A regularidade do ambiente oferece diversas oportunidades de seleção para mutações que levam o organismo a exibir uma resposta antecipatória ao ambiente. Embora possa parecer que o sistema faz uma “previsão” de que o ambiente é de uma dada maneira, deve-se ter em mente que o processo evolutivo (que o produziu) não é pré-determinado; apenas selecionou o organismo mais apto.

Deve-se enfatizar, neste contexto, que a seleção se faz principalmente ao nível do indivíduo e seu comportamento. Embora trazer uma “resposta pronta” (neste caso, um comportamento inato) possa ser adaptativo, isso só é possível, como vimos, em condições particulares. Quando, no entanto, a complexidade de um sistema aumenta e a imprevisibilidade torna-se um problema, um mecanismo diferente - mais flexível - deve ser selecionado.

Tal sistema deve permitir ao organismo obter o máximo de informações sobre o ambiente, possibilitando a este solucionar os problemas no momento em que surgem de forma não-antecipatória ou de forma antecipatória quando um padrão regular puder ser identificado. Há uma certa indeterminação no funcionamento desse tipo de sistema, mas ele é altamente adaptativo pois completará seu processo de adaptação quando as reais condições de uso da função forem encontradas. Nesse sentido é altamente adaptativo pois o organismo pode lidar com circunstâncias totalmente inesperadas. Este parece ter sido o processo de evolução tanto do sistema de imunidade como do sistema nervoso (incluída a consciência), i.e., sistemas seletivos capazes de lidar com novidade ao longo da vida do indivíduo.

Cabe enfatizar que esses sistemas são fruto de um processo histórico lento e gradual, que ocorre passo-a-passo, na evolução das espécies (para revisão, ver Dennett, 1995).

Memória, categorização, escolha e intencionalidade

Ao longo desse processo, teriam surgido organismos capazes de modificar seu comportamento por “tentativa-e-erro”, isto é, capazes de identificar que uma determinada resposta de seu repertório produziu consequências favoráveis num determinado contexto sendo, portanto, reforçada; conseqüentemente haveria um aumento da probabilidade da emissão da mesma resposta em contextos similares. Embora essa aptidão seja vantajosa, a emissão inicial da resposta no contexto apropriado ainda exibe um elevado grau de dependência em relação aos eventos externos casuais.

Sistemas capazes de realizar um “ensaio figurativo” (ou imaginativo) das diversas ações possíveis para um dado contexto seriam, certamente, mais eficazes, pois poderiam reduzir o risco de ações reais inapropriadas, facultando, em função do resultado do ensaio, a escolha de ações com maiores chances de sucesso. Isto é, as conseqüências das ações destes últimos indivíduos reduziriam consideravelmente a influência do acaso. O funcionamento de um tal sistema requer uma substancial quantidade de informações sobre o ambiente, sobre suas regularidades e sobre os resultados de ações anteriores. Essas informações, armazenadas no sistema nervoso do indivíduo sob a forma de modificações nas conexões entre seus elementos constituintes (as células nervosas), promovidas pela história de interação do indivíduo com o ambiente, envolvem um processo de contínua categorização da informação de modo a identificar um estímulo ou ação e, com base nessa identificação, controlar o comportamento. Essa concepção da memória como um processo de categorização da informação no sistema nervoso envolve a habilidade para desenvolver conceitos que, por sua vez, facultam a realização de inferências sobre um dado contexto. Xavier, Saito e Stein (1991) sugeriram que a antecipação com base na identificação de regularidades ambientais passadas permite reagir mais prontamente à estimulação esperada pois o organismo direciona atenção (com subsequente aumento na capacidade de processamento da informação) para os setores do ambiente que são relevantes. Além disso, faculta a escolha da “ação mais apropriada”, o que implica em intencionalidade e significado. Intencionalidade corres-

pondeu à aquisição de significado através de um processo lento e gradual; funcionalidade e propósito dão suporte à interpretação de intencionalidade para as atividades do organismo.

Em outras palavras, um “modelo interno do ambiente” é adaptativo na medida em que permite avaliar as consequências futuras das ações correntes, sem por em risco a integridade do sistema no desempenho da ação. Os mecanismos cerebrais da atenção originaram-se também da pressão sobre o animal que precisa selecionar uma entre várias ações possíveis. A aquisição inicial de uma habilidade requer atenção, mas uma vez adquirida o animal prescinde desta e o seu desempenho torna-se automático. Esses sistemas oferecem ainda a possibilidade de executar ações presentes para favorecer ações futuras que sejam vantajosas.

A vantagem evolutiva dessa, digamos, “consciência primária” (definida como o conhecimento dos estímulos externos e internos) é que ela ajuda a abstrair e organizar mudanças complexas num ambiente envolvendo múltiplos sinais concomitantes. Mesmo que esses sinais não tenham uma relação causal entre eles, podem servir de bons indicadores de perigo ou reforço. Assim, ela oferece meios de corrigir erros eficientemente. Aumenta a capacidade para generalizar, portanto oferece maior adaptabilidade.

O aparecimento desse tipo de consciência estaria, segundo Edelman (1992), relacionada à evolução de 3 funções envolvendo diferentes conjuntos de estruturas do sistema nervoso: (1) o desenvolvimento do sistema tálamo-cortical (um sistema de projeções do diencefalo para o córtex) de modo que quando as funções conceituais apareceram elas puderam ser ligadas fortemente ao sistema límbico (um circuito neural que envolve estruturas talâmicas e corticais supostamente envolvido no comportamento emocional), estendendo as capacidades de aprendizagem; (2) o desenvolvimento de um novo tipo de memória baseada nesta ligação. Diferentemente do sistema de categorização perceptual, este sistema de memória conceitual é capaz de categorizar respostas em diferentes sistemas do sistema nervoso e realizar a categorização perceptual de acordo com as demandas da relação entre o sistema límbico e o tronco encefálico (que incluiria alguns dos principais sistemas neurais envolvidos nas

sensações de prazer e dor). Esta memória “valor-categoria” permitiria respostas conceituais em termos de interações mútuas dos sistemas tálamo-corticais e límbico-troncoencefálico; e (3) categorização perceptual em várias modalidades sensoriais e o desenvolvimento de uma memória conceitual de valor e categoria. Essa categorização conceitual de percepções concorrentes pode ocorrer antes que esses sinais perceptuais contribuam de forma duradoura para aquela memória. Segundo Edelman (1992) esse tipo de consciência seria experienciada como uma cena, um quadro, uma imagem mental dos eventos categorizados em curso.

Resumidamente, a consciência primária estaria relacionada ao desenvolvimento do sistema tálamo-cortical (o córtex organizado sob a forma de mapas capazes de processar paralelamente muitas informações), que evoluiu em paralelo com o cerebelo, gânglios basais e hipocampo, envolvidos na manipulação de espaço e tempo, com os quais mantém grande quantidade de conexões. Estes sistemas estariam conectados com o sistema límbico-tronco encefálico (que fornece o valor do estímulo frente a homeostase fisiológica). Aprendizagem, neste caso, pode ser vista como o meio pelo qual a categorização ocorre, tendo por pano de fundo as mudanças adaptativas no comportamento que satisfazem às necessidades fisiológicas do indivíduo.

O biológico, o cultural e a consciência

A flexibilidade comportamental e a competência cognitiva de diferentes grupos de animais está diretamente relacionada com a quantidade de tecido nervoso (proporcionalmente ao tamanho corpóreo). Não se entenda essa afirmação como um culto à “escala filogenética” Isto é, a evolução do sistema nervoso não deve ser vista como uma escala contínua, unitária e cumulativa, mas como uma “árvore com diversos ramos” (para usar uma metáfora biológica), cada ramo transformando-se de forma independente dos outros.

Em vertebrados, curiosamente, a quantidade de tecido nervoso relacionado ao controle de ajustes neurovegetativos (que controlam fun-

ções orgânicas básicas), situado principalmente nas porções posteriores do sistema nervoso, pouco varia nas diferentes espécies. Já as porções anteriores do sistema nervoso, relacionadas ao processamento de informações provenientes do ambiente, a memória, a antecipação, a atenção, e a produção de respostas, variam enormemente, sendo maiores em primatas, particularmente, em seres humanos.

É interessante mencionar, neste contexto, estudos envolvendo a comparação genética de diferentes grupos de primatas, face às suas notórias diferenças de comportamento. A comparação das sequências de bases nas moléculas de DNA de humanos, chimpanzés e gorilas tem levado autores (e.g., Diamond, 1992) a afirmarem que humanos e chimpanzés exibem apenas 1,6% de diferenças ao nível genético (e que provavelmente partilharam um ancestral comum há cerca de 7 milhões de anos), enquanto gorilas diferem de humanos em cerca de 2,3% de seu material genético (e teriam divergido de um ancestral comum há cerca de 10 milhões de anos); já gorilas e chimpanzés difeririam em 2,1%. Portanto, do ponto de vista genético, chimpanzés estariam mais próximos de seres humanos que dos gorilas. Porém, estas evidências genéticas parecem contrastar com evidências anatômicas. Gorilas e chimpanzés partilham pelo menos duas características não presentes em seres humanos: o modo de andar e a estrutura do dente molar, utilizadas pelos adeptos da análise cladística para situá-los num grupo diferente do dos humanos. As substanciais diferenças anatômicas entre humanos e chimpanzés, não obstante a similaridade genética, têm levado à sugestão de que as diferenças estão em genes reguladores e não em genes que codificam proteínas estruturais específicas. As mudanças relacionadas com crescimento encefálico, inserção da musculatura da mandíbula no crânio, espaço supralaríngeo, como órgão relacionado à fala, e postura ereta, com liberação das mãos, aumentando imensamente a capacidade de manipulação e utilização de instrumentos, parecem ter sido decisivas para as características consideradas tipicamente humanas.

Mas, seria possível com tão poucas alterações genéticas, e em tão pouco tempo, produzir tamanha quantidade de mudanças no repertório comportamental desses animais?

De acordo com os antropólogos, o advento do uso de instrumentos foi acompanhado de um aumento na inteligência. É preciso inteligência para utilizar instrumentos, mas seu uso também contribui para o desenvolvimento da inteligência. Isto é, o processo é bidirecional e ocorre uma retroalimentação positiva de um sobre o outro. Inovações culturais mudaram as condições de expressão fenotípica de tal forma, e tão rápido, que teriam levado a diversas alterações comportamentais. Isso talvez permita avaliar por que a espécie humana possui maior heterogeneidade de comportamentos em relação a outras espécies.

Neste contexto, a aquisição de linguagem parece ter desempenhado um papel crucial na evolução da espécie humana, já que levou a um enorme aumento no poder conceitual. Palavras podem ser vistas como *instrumentos* para manipulação da informação. O armazenamento, de longa duração, de relações simbólicas, adquiridas através de interações com outros indivíduos da mesma espécie, libera o indivíduo do presente imediato. A eficácia desse processo está na possibilidade de interpretar itens como símbolos de forma abstrata e bem definida, de acordo com um grupo inequívoco de regras (sintaxe - manipulação de símbolos através de um procedimento definido). A partir deste substrato, desenvolveram-se capacidades semânticas, representadas pelo processo funcional de manipulação dos símbolos. Para alguns autores, esta última etapa corresponderia ao florescimento da consciência “superior”, vista aqui como a capacidade de refletir sobre as próprias experiências ao longo do tempo, como ocorre em seres humanos (e.g., Farthing, 1992). Assim, como linguagem é adquirida pela interação com outros indivíduos da espécie, depreende-se que a consciência decorre também de um processo social.

Do ponto de vista fisiológico, o aparecimento dessas capacidades linguísticas requer novos sistemas de memória, e de produção e audição de sons. A evolução do espaço supra-laríngeo, para a produção de sons, e o aumento de nossa sensibilidade auditiva exatamente na faixa de frequência da voz humana, proporcionaram alguns desses requisitos. Por outro lado, as regiões da fala que medeiam a categorização e memória para linguagem devem interagir com áreas conceituais já evoluídas do sistema nervoso. Essa fala liga fonologia à semântica, usando conexões

com áreas conceituais do sistema nervoso para guiar a aprendizagem. Isto origina a sintaxe quando esses mesmos centros conceituais do sistema nervoso tratam símbolos e suas referências e a imagem que eles evocam como um mundo independente para ser adicionalmente categorizado. Pinker e Bloom (1990) demonstraram que as estruturas do sistema nervoso relacionadas com linguagem e gramática constituem uma adaptação que ocorreu de forma gradual sob a pressão da seleção natural, de forma neo-Darwiniana.

Então, uma explosão conceitual e a revolução ontológica tornam-se possíveis pela interação entre centros conceituais e de linguagem. Esses mecanismos facultam o aparecimento de identidade, de passado e de futuro.

Assim, diversos níveis de interações físicas, biológicas e sociais devem ser colocados juntos para o surgimento da consciência superior; como o pensamento depende de interação social e cultura, de convenções, lógica e metáfora, outros métodos, além dos biológicos, são necessários para entender plenamente o processo consciente. No entanto, isso não significa dizer que não se pode entender o aparecimento da consciência sob o ponto de vista biológico. Nesse sentido, a humanidade deve ser vista como mais um dos resultados do processo evolutivo (um dos “ramos da árvore”), e não como sua maior expressão.

As bases neurais da individualidade

A proposta de investigação dos “fenômenos mentais” como fenômeno biológico sempre se depara com a argumentação de que os rígidos determinantes genéticos não poderiam comportar a explicação de fenômenos como a individualidade e a sensação de unicidade gerada pela consciência de si próprio e das próprias capacidades intelectuais.

Deve-se enfatizar que embora fatores genéticos determinem, em certa extensão (ver abaixo), sequências de desenvolvimento embrionário, bem como parte da especificação dos padrões de conectividade neuronal, isso não exclui a contribuição decisiva e marcante da interação do indivíduo

com o ambiente, incluindo a história de desenvolvimento individual associada às influências culturais, para a formação final do sistema nervoso.

O sistema nervoso humano adulto é constituído de cerca de 10^{11} células. Conectadas a essas células há, ainda, células para a recepção de informações (receptores sensoriais) que transformam diferentes formas de energia do ambiente em atividade eletro-química (no espaço tridimensional e no tempo) e influenciam a atividade de outras regiões do sistema nervoso. Por outro lado, células nervosas estão conectadas aos músculos e glândulas possibilitando a produção de respostas dirigidas ao ambiente. No entanto, a grande maioria das células nervosas conecta-se a outras células do próprio sistema nervoso. Por exemplo, apenas o córtex cerebral humano possui cerca de 10 bilhões (10^{10}) de células nervosas; cada uma dessas células emite projeções para milhares de células e recebem, por sua vez, projeções de outras milhares de células nervosas. É no sítio de interação entre duas células nervosas, a sinapse, que a informação de uma célula passa para outra célula e que ocorre modulação do processamento de informações. Calcula-se que existam aproximadamente um quatrilhão (10^{15}) de sinapses só no manto cortical humano. Se considerarmos como essas conexões podem ser combinadas para formar circuitos neurais, o número final é fabulosamente elevado - praticamente infinito - o que já nos dá uma primeira idéia da complexidade da estrutura que origina os processos mentais. Isso sem considerar as diferentes reações químicas que nele ocorrem.

Ao longo da ontogênese do sistema nervoso, células dividem-se, migram, emitem processos, conectam-se (através de sinapses), morrem. Como o sistema nervoso desenvolve-se de acordo com princípios topobiológicos, o “destino” de cada célula que era inicialmente equipotencial, depende da sua localização em relação a outras células, dos eventos que se processam nas regiões vizinhas e no ambiente, além da atividade concertada entre diferentes regiões. Assim, determinadas transformações só ocorrerão se outras ocorrerem previamente. Essas células trocam sinais de forma dependente do local e constroem uma rede de interconexões cheia de alças de controle obedecendo a mecanismos de homeostase que governam a sobrevivência. Trata-se de um sistema auto-organizado. As

conexões entre células não estão precisamente pré-definidas nos genes do indivíduo. Portanto, mesmo dois conjuntos idênticos de genes (como no caso dos gêmeos univitelinos) resultam em sistemas nervosos distintos anatômica e fisiologicamente (ver abaixo). A natureza estocástica das forças que atuam no desenvolvimento do sistema nervoso torna praticamente impossível que haja uma pré-especificação de todas as conexões. Assim, a complexidade de conexões no sistema nervoso é extraordinária. Além disso, o sistema exibe memória; isto é, arranjos funcionais dinâmicos do sistema são constituídos de tal modo que mudanças prévias interferem nos arranjos funcionais subsequentes e também como o sistema processará uma nova informação. Esses arranjos dinâmicos contribuem para a formação de representações sobre o ambiente. Nesse sentido, a sinalização celular envolve diversos eventos interativos que geram mapas e circuitos que se adaptam aos novos sinais. Portanto, o sistema nervoso é uma estrutura dinâmica e estatística.

Uma grande quantidade de experimentos demonstra essas características do sistema nervoso. Entre eles, por exemplo, o clássico estudo de Hubel e Wiesel (1970) mostrando como a privação visual ao longo do desenvolvimento em gatos altera o padrão de disparos dos neurônios do córtex visual primário. Dados similares foram obtidos por Merzenich e Jenkins (1993) em relação ao córtex somato-sensorial primário. Esses pesquisadores seccionaram projeções somáticas aferentes específicas de macacos e, com a utilização de técnicas de registro unicelular, mapearam o córtex sensorial primário que (antes da secção) recebia informações através do nervo seccionado. Os resultados mostraram que, após a secção das projeções de uma determinada área, as regiões somáticas circunvizinhas passaram a determinar o padrão de disparos dos neurônios corticais anteriormente responsivos a informações provenientes da região cujo nervo foi seccionado. Portanto, ao terem perdido suas aferências, as células corticais “encontraram” uma nova fonte de informações; mais interessante, essas novas aferências provinham de regiões espacialmente próximas às que originalmente estimulavam aquelas células corticais.

Outro exemplo impressionante refere-se a irmãos gêmeos univitelinos, portanto com o mesmo patrimônio genético, estudados por Gol-

dberg, Ragland, Torrey, Gold, Bigelow e Weinberger (1990). Esses autores relataram que um dos gêmeos do par pode ser vítima de esquizofrenia enquanto o segundo é completamente normal; estudos de radio-imagem mostram que o sistema nervoso do esquizofrênico é proporcionalmente menor e os ventrículos proporcionalmente maiores que o do irmão normal, confirmando observações feitas em outros pacientes com esquizofrenia que possuem menos tecido nervoso em relação a pessoas normais. Os fatores que levaram às distinções anatômicas e funcionais ainda são completamente desconhecidos, mas certamente estão relacionados com diferenças na sucessão de eventos a que os irmãos foram submetidos ao longo de sua história de desenvolvimento.

Esses experimentos realçam a extrema plasticidade do sistema nervoso. Essa característica, essencial para o entendimento dos processos de aprendizagem e memória, capacita a adaptação dos organismos às mudanças constantes que ocorrem no ambiente.

Do ponto de vista teórico é praticamente impossível que dois organismos sejam expostos exatamente às mesmas sequências de eventos e estímulos do ambiente, pelo simples fato de ocuparem posições diferentes do espaço. Suas histórias de interação com o ambiente serão diferentes, o que resultará em sistemas nervosos diferentes, ainda que os patrimônios genéticos sejam os mesmos. Esses fatores, críticos para o processo de adaptação ao ambiente, conferem individualidade cognitiva e afetiva. Não se sustenta, portanto, a noção de que não se pode entender a individualidade sob um prisma biológico. Pelo contrário, os mecanismos de desenvolvimento do sistema nervoso levam, necessariamente, à individuação. Por essa razão deve-se descartar a idéia de que o respeito ao ser humano e a ética são postos em risco ao se conceber a mente humana como fenômeno biológico. Ao contrário, por ser único no seu patrimônio genético e particularmente no seu patrimônio histórico, cada indivíduo é singular na sua essência e criatividade sendo, portanto, precioso. Exatamente essa singularidade de cada um é que deve ser respeitada e valorizada na condição humana.

A organização modular do sistema nervoso

Segundo Xavier (1993), "... o sistema nervoso está organizado de forma modular. Cada módulo mantém conexões diferentes com os outros e o nível de independência no funcionamento desses módulos parece variar. Lesões em módulos independentes eliminam as funções por ele desempenhadas, enquanto lesões em módulos que cooperam resultam numa alteração de desempenho dos módulos remanescentes de modo a minimizar as deficiências. O funcionamento independente, porém cooperativo, entre os diferentes módulos permite explicar não só dissociações experimentais observadas em indivíduos com lesões cerebrais, mas também a sensação de uma experiência de memória única em indivíduos normais." (p.108). A idéia expressa nessa frase também se aplica ao fenômeno da consciência.

Do ponto de vista evolutivo, essa organização do sistema nervoso parece ter derivado da interação do organismo com demandas ambientais específicas, resultando em especializações adaptativas que lidam com problemas específicos. De acordo com o "princípio de incompatibilidade funcional" (Sherry & Schacter, 1987), as propriedades específicas que fazem um sistema ser efetivo para a solução de um dado problema também fazem com que ele seja incompatível com as demandas de outros problemas. Isso não significa que o sistema não seja flexível e capaz de lidar com um grande conjunto de atividades.

As demonstrações mais contundentes desse arranjo modular advém de estudos de dupla dissociação (ver abaixo).

Paul Broca e Carl Wernicke (apud Maciel Jr., 1996) foram os primeiros a apresentar descrições precisas sobre correlações diretas entre estruturas do sistema nervoso e comportamentos altamente sofisticados, como é o caso da linguagem humana. Ambos descreveram casos de pacientes com problemas de afasia, um distúrbio de linguagem observado mais comumente em pacientes que sofreram algum tipo de traumatismo craniano com conseqüente oclusão de vasos sanguíneos em determinadas regiões do hemisfério cerebral esquerdo. Os pacientes descritos por Broca (apud Kandel, 1991, apud Mansur & Senaha, 1996), embora capazes de compre-

ender perfeitamente o que se lhes dizia, não eram capazes de produzir sentenças em decorrência de lesões na região posterior do lobo frontal (posteriormente denominada “área de Broca”). Wernicke (apud Kandel, 1991), por outro lado, descreveu pacientes portadores de lesões na parte posterior do lobo temporal, na junção com os lobos occipital e parietal (atualmente denominada área de Wernicke), que apresentavam pouca compreensão da linguagem, embora pudessem produzir frases completas.

Estudos desse tipo mostram a existência de uma clara modularidade das funções que participam do processo de composição da linguagem. Isto é, estruturas anatomicamente distintas do sistema nervoso são responsáveis por diferentes etapas: lesões em algumas delas comprometem etapas do processamento sem interferirem com outras e vice-versa. O funcionamento integrado dessas diversas estruturas é necessário para o desempenho integral da função.

Observações similares relativas a diversos fenômenos de consciência e memória vêm sendo realizadas.

O fenômeno da visão às cegas (“blindsight”)

As projeções da retina para o córtex visual primário (região V1 ou área 17) são topograficamente organizadas de modo que a uma determinada região da retina corresponde uma região do córtex estriado.

Pacientes com lesões em uma dada região do córtex visual estriado negam a percepção de estímulos visuais, como imagens de objetos ou luzes, sempre que estas imagens são projetadas nas regiões da retina correspondentes à porção lesada do córtex. Durante algum tempo, esse tipo de resultado foi considerado paradoxal uma vez que se sabia que a retina, além das projeções para o córtex estriado, projeta-se independentemente para outras regiões que não envolvem aquela estrutura. Assim, se os demais circuitos visuais mantinham-se intactos, como explicar essa “cegueira absoluta”?

Estudos posteriores envolvendo pacientes com esse tipo de lesão mostraram que a cegueira não era, de fato, absoluta, e que os pacientes eram capazes de discriminar precisamente algumas características do estímulo apresentado. Isto é, se o estímulo fosse apresentado numa situação que incluía escolhas induzidas (os pacientes eram instruídos a “simular” uma resposta), os sujeitos exibiam comportamentos adequados do braço, pulso e dos dedos para apanhar o objeto real, embora negassem a presença de qualquer objeto em seu campo de visão. Ou seja, os ajustes preparatórios do pulso, dedos e braço eram adequados à forma, orientação, tamanho e distância do objeto. O que é mais interessante, os pacientes direcionavam o movimento precisamente para o local onde o estímulo estava situado. É importante enfatizar que esse tipo de desempenho requer processamentos visuais precisos sobre as dimensões, além de profundidade e localização, o que envolve memórias de experiências passadas em situações similares; ademais, toda essa informação é utilizada para o cálculo dos ajustes motores necessários para cada tipo de objeto, o que é feito com surpreendente precisão.

É intrigante que toda essa quantidade de processamentos seja realizada sem que o paciente tenha *conhecimento consciente* de sua ocorrência; usualmente, quando informados de seu bom desempenho nesses testes, os pacientes o atribuem a um “golpe de sorte”

De fato, o nível de (*in*)consciência desses pacientes em relação a diferentes formas de estimulação parece variar (Weiskrantz, 1988), sugerindo que a experiência subjetiva de perceber o estímulo depende do nível de processamento que a informação recebe (para fenômenos similares envolvendo memória, ver Xavier, 1993). Por exemplo, um aumento na saliência do estímulo pode levar alguns pacientes a insistirem que “não vêem” o estímulo, embora possam “sentir” a presença de algo. Aumentos adicionais na saliência do estímulo podem levar a uma condição em que o paciente afirma “ver”, mas que a experiência não é verídica. Outros, ainda, relatam “sombras escuras” à medida que se aumentam os níveis de contraste e brilho do estímulo (ver Weiskrantz, 1986, para detalhes).

Essas capacidades preservadas nos pacientes com visão-às-cegas provavelmente dependem de conexões entre o colículo superior e o cór-

tex pré-estriado. É sabido, por exemplo, que neurônios da área V5 não perdem sua habilidade para detectar movimentos mesmo após a destruição do córtex estriado; já a destruição dos colículos superiores elimina essa capacidade (Rodman, Gross & Albright, 1989).

Esses resultados mostram que a informação visual pode controlar o comportamento, sem que o paciente tenha sensação consciente desse controle. Embora especulações sejam possíveis (ver abaixo), até o presente não está claro porque o processamento de informações em apenas um desses módulos resulta em percepção consciente.

Múltiplos sistemas de memória

Em estudos para avaliação da memória nos anos 50, voluntários recebiam uma lista de palavras não relacionadas e, em seguida, tinham que lembrá-las. As primeiras e as últimas palavras apresentadas eram melhor lembradas que as intermediárias. Se, no entanto, a evocação fosse retardada por alguns segundos e uma tarefa distrativa fosse introduzida nesse intervalo (contar, por exemplo), os voluntários lembravam-se principalmente das primeiras palavras apresentadas; a lembrança das últimas palavras estava tão prejudicada quanto a das intermediárias (e.g., Brown, 1958; Peterson & Peterson, 1959). A interpretação proposta afirmava que as palavras apresentadas por último eram armazenadas num sistema de memória de curta duração (“short-term memory” - STM), enquanto que as apresentadas no início, num sistema de longa duração (“long-term memory” - LTM).

Nesta ocasião, houve um marco nas pesquisas sobre memória: H.M., um paciente submetido à remoção bilateral de parte do lobo temporal medial (uma das estruturas do sistema nervoso), incluindo o giro parahipocampal, córtex entorrinal, amígdala e dois terços anteriores do hipocampo, numa tentativa de controlar os ataques associados com a epilepsia, passou a exibir uma profunda incapacidade de formar novas memórias (amnésia anterógrada). A acuidade de sua memória para eventos ocorridos pouco antes da cirurgia também estava severamente

comprometida (amnésia retrógrada); esse comprometimento, no entanto, tornava-se progressivamente menor para informações adquiridas até 3 anos antes da cirurgia de tal modo que informações adquiridas anteriormente a este período eram lembradas normalmente (Scoville & Milner, 1957). Diversas outras funções estavam intactas. Por exemplo, H.M. era capaz de conversar normalmente, desde que não fosse distraído (Pribram, 1986), sua atividade intelectual estava normal (Scoville & Milner, 1957), sua memória de curta duração estava preservada (Milner, Corkin & Teuber, 1968), seu desempenho em testes de percepção era normal (Milner, Corkin & Teuber, 1968; Scoville & Milner, 1957), assim como sua capacidade para adquirir novas habilidades motoras, perceptuais e cognitivas (Cohen, 1984). Não obstante diversas estruturas terem sido removidas no paciente H.M., os efeitos amnésicos foram atribuídos à lesão hipocampal. De fato, pacientes com perdas celulares restritas às células piramidais do campo CA1 do hipocampo, em decorrência de isquemia cerebral transitória (Zola-Morgan, Squire & Amaral, 1986), e pacientes com anormalidades hipocampais decorrentes de encefalite viral (Press, Amaral & Squire, 1989), exibem uma síndrome amnésica similar.

É notável, portanto, que esses pacientes sejam capazes de adquirir novas habilidades motoras, perceptuais e cognitivas e, como pessoas normais, reterem esses tipos de informações por prolongados períodos de tempo: a retenção da habilidade é evidenciável em testes realizados mesmo um ano após a aquisição original. O mais impressionante, no entanto, está no fato dos pacientes insistirem que não são capazes de desempenhar as habilidades, pois não se recordam de tê-las aprendido. Também o efeito de pré-ativação (facilitação inconsciente ou viés no desempenho em decorrência da exposição prévia às informações utilizadas no teste - ‘priming’, em inglês; por exemplo, uma única exposição a uma palavra pode ser suficiente para facilitar seu processamento horas depois) encontra-se preservado nesse tipo de paciente amnésico (para revisão, ver Cohen, 1984). Além disso, a STM, ou como prefere Baddeley (1992), memória operacional (um tipo de sistema de capacidade limitada com múltiplos componentes que permite reter informações por curtos intervalos de tempo, para o desempenho de uma diversidade de tarefas cognitivas), parece intacta (Ba-

3005
A

Baddeley & Warrington, 1970). Este último resultado é particularmente interessante pois permite descartar a possibilidade de que haja problemas de percepção (ou registro), de aprendizagem de regras ou prejuízo em alguma outra função cognitiva que impedisse a aquisição da informação. A aquisição ocorreu e o paciente é capaz de referir-se a ela conscientemente, durante um determinado intervalo de tempo. Sua principal dificuldade parece ser a de reter esse tipo de informação por prolongados períodos de tempo.

Por outro lado, Shallice e Warrington (1970) descreveram uma síndrome oposta num paciente capaz de reter apenas 2 dígitos de informação, portanto com um severo prejuízo de STM, sem qualquer lembrança das últimas palavras de uma lista. A LTM desse paciente apresentava-se completamente normal. Essa dupla dissociação (ver abaixo) sugere que os sistemas de arquivamento de STM e de LTM são distintos e não funcionam de forma serial, como havia sido proposto por Atkinson e Shiffrin em 1968. Além disso, se a STM fosse necessária para a formação da LTM, como seria possível explicar que pacientes com problemas na STM podem aprender e ter uma vida quase normal?

É importante mencionar, neste contexto, que o desempenho de indivíduos normais também varia em função das características da informação processada. Por exemplo, Baddeley (1966b) mostrou que palavras com sons similares são menos lembradas pela STM que palavras fonologicamente diferentes, mesmo que possuam significados semelhantes. Por outro lado, este padrão se reverte quando LTM é requerida (Baddeley, 1966a), sugerindo que, pelo menos em relação a palavras, a STM depende da acústica, enquanto a LTM favorece a codificação semântica. Por outro lado, em tarefas concorrentes, em que voluntários devem desempenhar um raciocínio gramatical ao mesmo tempo que repetem continuamente de 0 a 8 dígitos, aumentos na quantidade de dígitos concorrentes aumentam o tempo de processamento, mas não prejudicam a precisão do desempenho (Baddeley, 1986), indicando que a capacidade de manter a atenção para o raciocínio gramatical é independente da retenção dos dígitos na STM. Resultados similares foram obtidos em testes de compreensão e de lembrança livre, em que uma carga de dígitos concomitante impediu a LTM mas manteve a lembrança dos últimos itens experienciados intacta. Como poderiam os sujeitos

continuar resolvendo problemas mesmo com a STM cheia de informações? Por que não houve prejuízo na lembrança dos últimos itens experienciados apesar da tarefa concorrente? A conclusão foi que a memória operacional também pode ser dividida em sub-componentes (ver Baddeley, 1992).

Essas dissociações, i.e., prejuízos no desempenho de algumas tarefas em contraposição a um desempenho normal em outras tarefas, são apontados como evidência da existência de diferentes sistemas de memória. Mencione-se que alguns autores tentaram interpretar essas dissociações como decorrentes da sensibilidade diferencial das tarefas utilizadas. De acordo com este ponto de vista, os pacientes amnésicos exibiriam dificuldades em tarefas cuja demanda fosse maior e seu desempenho estaria preservado em tarefas cuja demanda fosse menor (e.g., Meudell & Mayes, 1981). No entanto, como apontado por Xavier (1993), esse “raciocínio não se aplica (...) quando os resultados experimentais apontam para a existência de uma dupla dissociação. Isto é, quando lesões em determinados sistemas neurais resultam em prejuízos no desempenho de uma dada tarefa ‘1’, deixando intacto o desempenho de uma segunda tarefa ‘2’, enquanto um segundo tipo de lesão produz o resultado inverso, ou seja, prejuízo na tarefa ‘2’ e desempenho normal em ‘1’ ” (p.66).

Estudos de dissociação levaram Cohen (1984), Squire (1992) e Squire e Zola-Morgan (1991), a propor a distinção entre memória declarativa (consciente ou explícita) e memória não-declarativa (ou processual ou, ainda, implícita), ambos considerados como sistemas de memória de longa duração. Memória declarativa refere-se à retenção de experiências sobre fatos e eventos do passado, i.e., o indivíduo tem acesso consciente ao conteúdo da informação, sendo adequada para o arquivamento de associações arbitrárias após uma única experiência. De acordo com esses autores, memória declarativa seria flexível e prontamente aplicável a novos contextos e é exatamente o tipo de memória prejudicada nos pacientes amnésicos. Em contraposição, não haveria possibilidade de acesso consciente ao conteúdo da memória não-declarativa, que seria evidenciável apenas através do desempenho. Este tipo de informação seria adquirido gradualmente ao longo de diversas experiências, estando fortemente ligada à situação de aquisição original; seria, portanto, inflexível e pouco

acessível a outros sistemas. A memória declarativa é adicionalmente subdividida em memória para fatos (ou semântica) e para eventos (ou episódica), sendo esta última autobiográfica. E a memória não-declarativa, em habilidades e hábitos, pré-ativação, condicionamento clássico simples e aprendizagem não associativa, incluídas aqui habituação e sensibilização (Squire & Zola-Morgan, 1991). Essa taxonomia dos sistemas de memória foi, posteriormente (Squire & Knowlton, 1995), associada a diferentes estruturas do sistema nervoso; lesões nessas estruturas resultariam em deficiências no processamento de informações por aqueles sistemas. De acordo com essa proposta, memória declarativa (tanto para fatos, como para eventos) estaria associada as estruturas do lobo temporal medial e diencéfalo, habilidades e hábitos ao estriado, a pré-ativação ao neocórtex, condicionamento clássico simples relacionado à amígdala nas respostas emocionais e ao cerebelo nas respostas da musculatura esquelética, e aprendizagem não-associativa a vias reflexas.

Parece haver, ainda, especializações inter-hemisféricas para as funções de memória em humanos, sendo que o hipocampo esquerdo estaria relacionado com linguagem (particularmente no mapeamento semântico da linguagem - ver O'Keefe & Nadel, 1978), enquanto o hipocampo direito estaria relacionado com o mapeamento cognitivo.

Assim, também no que se refere aos sistemas de memória, o sistema nervoso parece estar organizado de forma modular havendo informações às quais a pessoa tem acesso consciente e outras às quais não há acesso consciente. Dada a natureza modular do processamento, as informações são distribuídas continuamente através da rede de processamento; essas informações, mesmo quando não representadas conscientemente, podem influenciar a percepção ou ação em curso (ver abaixo).

Negligência

Uma das formas mais comuns de negligência é a hemi-negligência ou negligência unilateral caracterizada por um prejuízo na percepção e concepção de uma das metades do espaço egocêntrico contralateral ao

hemisfério cerebral comprometido. Quando se solicita a um paciente, por exemplo, com lesões no córtex parietal direito que desenhe uma flor, ele irá desenhar apenas sua metade direita; muitas vezes, quando fazem suas refeições, os pacientes não comem a porção do alimento situada na metade esquerda do prato; podem apresentar prejuízos na leitura de partes de palavras ou porção de sentenças (paralexia); utilizam somente um lado da página quando escrevem; e podem, ao utilizar máquinas de escrever, datilografar incorretamente letras que estão em um dos lados do teclado (paragrafia). Em alguns casos, pode ocorrer ausência de resposta aos estímulos presentes na metade esquerda de um objeto, ou seja, uma negligência centrada no objeto, ou haver a chamada negligência pessoal, caracterizada por dificuldades em reconhecer suas próprias extremidades como partes integrantes de seu corpo. Neste último caso, os pacientes podem queixar-se que “braços e pernas de algum desconhecido” estão na cama juntamente com eles, quando se deitam (frequentemente, pacientes com esses distúrbios não vestem nem arrumam o lado de seu corpo negligenciado) (ver Heilman, Watson & Valenstein, 1993).

Bisiach e Luzzatti (1978) demonstraram que esse fenômeno não se trata de um problema de memória. Esses autores pediram aos pacientes que se imaginassem numa dada posição de um ambiente bem conhecido e que o desenhassem. Como esperado, os pacientes desenharam, com base na memória, apenas a metade direita da cena. Então, os autores pediram que os pacientes se imaginassem sofrendo uma rotação de 180 graus e que, novamente, desenhassem o ambiente. Com base na memória, os pacientes desenharam o lado direito da cena. Assim, esses pacientes foram capazes de desenhar o ambiente completo pois os elementos omitidos quando sob uma perspectiva foram acrescentados quando a perspectiva foi invertida. Em outras palavras, os pacientes dispunham da memória para as informações de ambos os lados da cena, mas numa dada perspectiva, somente as informações do lado direito eram processadas.

Esses resultados levaram à interpretação de que a negligência unilateral seria fruto de um prejuízo de atenção para a porção do espaço contralateral ao hemisfério lesado decorrente de sua hipoatividade (Heilman, Watson & Valenstein, 1993). Em outras palavras, o nível de atividade do

hemisfério íntegro seria proporcionalmente maior que o do lesado, deslocando assim o foco de atenção. Congruentemente, essa dificuldade de atenção na negligência pode ser modificada, e mesmo corrigida com o uso de artifícios mobilizadores da atenção em direção ao espaço negligenciado. Por exemplo, Rubens (1985), Silberpfennig (1949), Vallar, Sterzi, Bottini, Cappa e Rusconi (1990) conseguiram restabelecer temporariamente a percepção normal tanto em pacientes com negligência espacial quanto em pacientes com negligência pessoal (de partes do próprio corpo) através da estimulação térmica do ouvido interno (contralateral à lesão para estímulos frios e ipsilateral para quentes). De acordo com esses autores, a estimulação vestibular provocaria uma elevação da atividade do hemisfério lesado restabelecendo a capacidade de processamento dos estímulos contralaterais em níveis adequados à sua representação consciente.

Quando submetidos ao teste de bissecção de linhas, em que devem assinalar linhas dispostas aleatoriamente sobre uma folha de papel, os pacientes com negligência tipicamente assinalam apenas aquelas localizadas à direita da folha; se incitados a continuarem na execução da tarefa, dizem ser impossível, pois “não existem mais linhas a serem assinaladas” Padrão de resultados diferente é obtido quando se utiliza uma versão modificada da tarefa onde evita-se a visão direta tanto da folha de papel quanto da mão do paciente, através do uso de um anteparo. Nesta versão utiliza-se um jogo de espelhos para servir como guia à execução da tarefa (espelhos estes que provocam uma inversão nas relações esquerda/direita naturais). Dois tipos de resultados são, então, observados: (1) alguns indivíduos assinalam apenas as linhas que são vistas no seu campo visual direito (que corresponde fisicamente ao lado esquerdo da folha), atravessando a linha sagital mediana e assinalando as linhas anteriormente negligenciadas durante a primeira versão da tarefa; (2) outros sujeitos assinalam somente as linhas localizadas na porção direita da folha, apesar delas estarem agora dispostas do lado esquerdo do seu campo visual. Esses resultados mostram que a falta de consciência naquilo que parecia ser uma síndrome única pode ser dividida em no mínimo dois tipos diferentes de distúrbios da consciência, com etiologias distintas. O primeiro, gerado por um prejuízo de *exploração visual* do lado contralateral ao hemisfério lesado e o segun-

do relacionado a um prejuízo na capacidade de *exploração motora* do lado contralateral ao espaço egocêntrico. O fato relevante dentro deste quadro é a surpreendente dissociação, e inversão em circunstâncias específicas, encontrada entre a consciência ou ausência-de-consciência da informação de um dos lados, obtida através da manipulação da relação comportamento motor e informação visual nos pacientes do segundo grupo.

Outro aspecto curioso na negligência unilateral refere-se ao tipo de influência que as informações provenientes do hemi-espaço negligenciado exercem sobre o desempenho do paciente. Em tarefas de reprodução de desenhos, pacientes sofrendo de negligência unilateral, como descrito anteriormente, desenhavam apenas as respectivas metades direitas. Todavia, observa-se que frequentemente detalhes presentes somente nas metades esquerdas, negligenciadas, são transpostos às metades direitas dos desenhos, dando origem ao fenômeno designado por *alestesia*. Por exemplo, Vallar, Rusconi e Bisiach (1994) pediram a um de seus pacientes (R.G.) que reproduzisse alguns desenhos de animais quiméricos (desenhos formados pela justaposição de metades distintas de dois animais). Ao realizar o traçado da cabeça de um canguru, baseado na quimera de um cervo à esquerda / canguru à direita, R.G. disse: *“aqui alguém pode desenhar um cervo.”* Porém, indagado, o paciente não reconheceu a estrutura quimérica do desenho. Em outra situação, Halligan, Marshall e Wade (1992) apresentaram a um paciente negligente o desenho de uma borboleta. Ao ser realizada a cópia desse desenho o paciente omitiu a asa esquerda porém transpôs alguns de seus detalhes para o lado direito.

Há dois tipos principais de hipóteses sobre o funcionamento do sistema nervoso para explicar esses fenômenos. Uma delas baseia-se na idéia de processamento serial, segundo a qual a seqüência de estágios de processamento da informação culminam em um “centro privilegiado” responsável pelo aparecimento da consciência (ver abaixo). A principal dificuldade desta hipótese está no fato de que não há um único tipo de lesão descrita que produza a perda completa e absoluta de consciência. A outra idéia baseia-se na noção de que o processamento estaria distribuído por todo o sistema nervoso, sendo que diferentes módulos de processamento seriam ativados em paralelo e o resultado dessa configuração de

atividades nos diversos módulos determinaria a sensação de consciência. De acordo com essa proposta, os casos de negligência unilateral originar-se-iam não pela perda de determinado repertório cognitivo, mas sim por um excesso de controle do comportamento, determinado pelo córtex parietal esquerdo que permanece intacto. Com a ausência de seu “opositor ou controlador”, a porção esquerda do cérebro tornar-se-ia desinibida, orientando o comportamento para o lado direito, sem oscilações entre as duas porções do espaço, como seria o caso em pessoas normais. Essa hipótese postula, portanto, que pacientes negligentes exibem excesso de atenção para o lado direito, havendo uma tendência quase compulsiva para responder apenas aos estímulos apresentados desse lado. Em outras palavras, uma vez que a atenção tenha sido focalizada no lado direito, o indivíduo teria dificuldades de desviá-la para o lado esquerdo. O fato de pacientes com negligência unilateral excederem pessoas normais no desempenho de testes de reação quando os estímulos são apresentados à direita favorece essa interpretação (para revisão, ver Kinsbourne, 1993).

Além da negligência às informações sensoriais provenientes do lado esquerdo do espaço ou sobre a porção esquerda do seu próprio corpo, esses pacientes também exibem anosognosia, isto é, desconhecem o fato de não serem capazes de responder às informações do lado esquerdo; por essa razão, não tentam compensar suas deficiências, o que torna o tratamento mais difícil pois os pacientes negam ter qualquer tipo de dificuldade, por mais óbvia que ela seja (ver abaixo).

Entre parênteses, parece relevante mencionar neste contexto o fenômeno denominado completamento perceptual, observado em pessoas normais (para detalhes, ver Gattass, 1993). Há uma região da retina denominada disco óptico (ou ponto cego) que não possui receptores sensoriais, sendo portanto insensível à luz. No entanto, mesmo fechando-se um dos olhos, o que impede a sobreposição de imagens, não se percebe “um buraco” na cena visual. Isso se deve ao fato do sistema nervoso “completar” a imagem com base nas informações provenientes das regiões circunvizinhas: um fundo amarelo será preenchido com a cor amarela, um padrão com listras horizontais será completado com listras horizontais, uma superfície de pontos coloridos que acendem e apagam será completada

com o mesmo padrão, ou seja, o sistema nervoso preenche aquele espaço com o padrão mais provável e coerente, dadas as informações que ele está recebendo das células receptoras que rodeiam a região insensível (Ramachandran, 1992). Similarmente, a representação de um objeto é construída mesmo diante de uma imagem parcial ou deteriorada do mesmo.

A Figura 1 pode ser utilizada para observação do fenômeno de completamento perceptual. Se o leitor seguir atentamente as indicações da legenda perceberá que a determinada distância do desenho, a figura à direita desaparecerá e no seu lugar o leitor será capaz de perceber o preenchimento realizado pelo cérebro. No local da figura o leitor perceberá o padrão da folha como um todo. Isso ocorre porque nesse ponto a figura está incidindo diretamente no ponto cego do olho direito, ou seja nenhuma informação visual sobre essa região alcançará o córtex visual. Como resultado, o cérebro preenche esse espaço “vazio” com o padrão mais provável, que alcança o córtex a partir das regiões circunvizinhas.

Segundo Gattass (1993) “a percepção compara a informação neural originada em nossa retina com representações neurais previamente aprendidas, trazendo essas representações para um nível de consciência. Nesse processo, as imagens parciais são reconstruídas e a representação neural resultante é completa.” (p.25). Esses processos que levam ao completamento perceptual ocorrem automaticamente (“inferência inconsciente”, de acordo com Shallice, 1990), sem que a pessoa se dê conta de que estão ocorrendo.

Da mesma forma, o sistema nervoso de pacientes com negligência unilateral, apesar da lesão, parece reter a capacidade para completar a imagem da parte do ambiente para qual não atenta. Por exemplo, se uma figura incompleta for apresentada de maneira a fazer com que uma porção ausente incida diretamente sobre o hemicampo negligenciado, o paciente afirma ver uma figura completa (Kinsbourne, 1995). Aliás, o próprio fenômeno da anosognosia provavelmente decorre dessa característica, i.e., como ocorre completamento perceptual, os pacientes tem a sensação de que sua percepção é completa e acabam por desconhecer a própria deficiência.

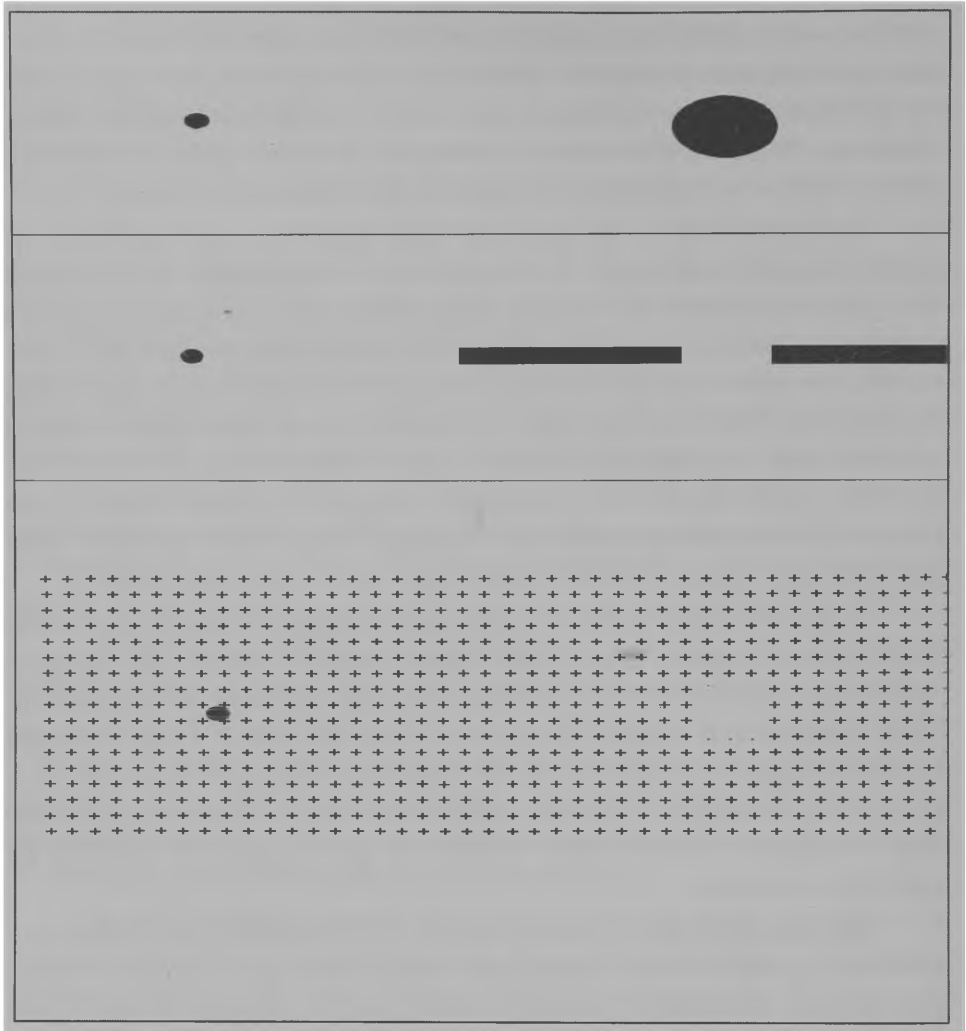


Figura 1. Estas três imagens permitem evidenciar a existência do ponto cego e o fenômeno do completamento perceptual. Utilize uma imagem por vez, iniciando pela superior. Feche o olho esquerdo e fixe o olhar no círculo menor (mantendo a imagem a uma distância de aproximadamente 40 centímetros do olho). Mantendo o olhar fixo no círculo menor, aproxime lentamente a imagem. Na distância aproximada de 30 cm, o círculo maior “desaparecerá” pois será projetado no ponto cego. Repita o procedimento com as outras imagens e verifique que o completamento perceptual depende das imagens projetadas nas circunvizinhanças do ponto cego.

Por exemplo, Bisiach (1988) descreveu o caso de uma paciente vítima de hemiplegia, de origem vascular, à esquerda, que verbalmente era capaz de reconhecer sua hemiplegia ao mesmo tempo que, comportamentalmente, se engajava em atos impossíveis como andar, ou mais impressionantemente, pedia ao seu marido que trouxesse suas agulhas de tricô logo após ter reclamado de suas dificuldades em fazer qualquer movimento com o braço esquerdo.

Bisiach (1988) mostrou também que a detecção de estímulos no campo visual contralateral ao hemisfério lesado (neste estudo o direito), varia marcadamente em função da resposta requerida (verbal ou pressão de uma tecla). Numa situação em que pequenas lâmpadas eram acesas no lado direito ou esquerdo do ponto de fixação visual (de modo que a informação proveniente do hemisfério visual direito fosse projetada no hemisfério esquerdo e a informação do hemisfério esquerdo fosse projetada no hemisfério direito), os pacientes deveriam relatar (verbalmente) a quantidade de lâmpadas que tinham sido acesas (“uma”, “duas” ou “nenhuma”) ou pressionar uma tecla quando apenas uma lâmpada tivesse sido acesa, evitando pressioná-la no caso de duas ou nenhuma lâmpada terem sido acesas. Em ambos os casos, os pacientes exibiram prejuízo de desempenho em relação ao hemisfério visual contralateral à lesão, i.e., no caso destes pacientes, a detecção de estímulos visuais foi quase total em relação às informações apresentadas no hemisfério visual direito e diminuída em relação às informações apresentadas no hemisfério visual esquerdo. Ou seja, em diversas tentativas com um único estímulo apresentado no campo visual esquerdo o paciente respondeu “nenhum” na condição verbal e deixou de pressionar a tecla na condição motora. Além disso, em situações de estimulação bilateral, os pacientes comportaram-se, na maioria das vezes, como se apenas um estímulo tivesse sido apresentado (o do lado direito); o número de respostas à estimulação do lado esquerdo reduziu-se adicionalmente. Entretanto, a detecção do estímulo apresentado no campo visual esquerdo foi significativamente inferior quando a resposta a ser emitida envolvia a pressão à tecla, tanto nos casos de estimulação simples como nos casos de estimulação dupla, em relação à condição em que a resposta tinha que ser verbal. Esses

resultados indicam que os estágios de processamento da informação visual podem ser influenciados pela natureza da resposta requerida.

Também pacientes com certos tipos de lesões frontais no hemisfério direito negligenciam o hemiespaço esquerdo. Bisiach (1988) relata estudos envolvendo esse tipo de paciente em que uma lâmpada verde ou vermelha era apresentada por 200 ms à direita ou à esquerda do ponto de fixação do foco visual. Duas teclas para resposta (uma verde outra vermelha) foram colocadas uma em cada lado do espaço. A disposição das lâmpadas e das teclas foi variada de tal forma que gerou 4 combinações possíveis, duas cruzadas e duas não-cruzadas. Os pacientes tinham que pressionar a tecla de mesma cor em relação ao estímulo apresentado. O paciente F.S., por exemplo, foi capaz de relatar verbalmente a cor da lâmpada apresentada em seu hemicampo visual direito em todas as tentativas de uma sessão em que as teclas não foram utilizadas. Além disso, exibiu respostas precisas a todas as tentativas em que o estímulo foi apresentado no hemicampo direito quando uma resposta à tecla do lado direito era requerida. Entretanto, a apresentação de um estímulo ainda no hemicampo direito, mas com a tecla para identificá-lo localizada, agora, no lado esquerdo, levou à ausência de qualquer reação em metade das tentativas; além disso, em algumas dessas ocasiões o paciente declarou espontaneamente que nenhum estímulo havia sido apresentado (Bisiach, Berti & Vallar, 1985). Neste exemplo fica claro que, embora o estímulo utilizado pareça estar acima do limiar para percepção consciente, sua efetiva percepção dependerá de um processamento adicional que ocorrerá ou não dependendo da resposta requerida. Ou seja, uma falha no sistema de ação relevante a ser utilizado após a apresentação do estímulo parece prevenir o processamento adicional daquela representação que teria sido (no caso da integridade do sistema de ação) a base para um relato ou resposta sobre ela.

Esses fenômenos permitem, assim, evidenciar que prejuízos no funcionamento de módulos do sistema nervoso que interferem no direcionamento da atenção, prejudicam a percepção consciente. Mais interessante, eles permitem evidenciar que o sistema nervoso é capaz de gerar congruência a partir de informações incompletas (ou contrastantes), indicando que o ambiente passa a ser interpretado com base nas expectativas geradas com

base na memória de regularidades passadas. Em determinadas situações, quando há conflito entre a percepção momentânea e a informação da memória, a congruência será mantida apenas em relação à percepção e não em relação à memória, como se as expectativas do paciente também tivessem sido perdidas. Por exemplo, Bisiach, Berti e Vallar (1985, apud Shallice, 1990) descreveram uma observação dramática ocorrida durante a interação do médico (M) com um paciente vítima de negligência unilateral (P):

M: (Apresentando o próprio dedo no campo visual direito do paciente) “Agarre meu dedo com sua mão esquerda O que? Você não consegue mover a mão esquerda?”

P: ...”Me dê algum tempo para que eu possa traduzir o pensamento em ação.”

M: “Por que você não precisa de tempo para traduzir o pensamento em ação quando usa a mão direita? Será que você não consegue mover sua mão esquerda?”

P: “Posso movê-la perfeitamente. Somente que, por vezes, há algumas reações ilógicas no comportamento; algumas positivas e outras negativas...”

M: (Segurando a mão esquerda do paciente entre as próprias mãos) “De quem são estas mãos?”

P: “Suas”

M: “Quantas?”

P: “Três”

M: “Já viu um homem com três mãos?”

P: “Uma mão é a extremidade de um braço. Uma vez que você tem três braços, você deve ter três mãos.” (p.397).

Como o sistema nervoso lida com situações onde duas informações concomitantemente apresentadas contrastam do ponto de vista perceptual? Gregory (apud Shallice, 1990) construiu um “cubo” oco com bordas auto-iluminadas e dimensões tais que uma pessoa normal, observando-o no escuro, tem a impressão de que a face do cubo fisicamente mais próxima a ela corresponde à face mais distante (como no cubo de Neckar).

Gregory pede, então, que o observador gire o cubo com a própria mão. As sensações visual e cinestésica produzidas no observador entram em conflito pois sugerem que o cubo está girando de modos diametralmente opostos. O que o observador percebe nestas condições é *uma* dentre duas possibilidades: (1) que o cubo está sofrendo uma espécie de distorção visual (que corresponde, na realidade, à percepção de sua forma real), ou (2) que o objeto continua sendo um cubo em rotação, mas que o próprio pulso do observador está sofrendo uma rotação em sentido contrário ao do movimento aplicado, como se fosse quebrar. Isto é, diante da inconsistência (em termos das expectativas em relação ao que deveria ser observado) prevalece apenas uma das interpretações, sendo a outra desconsiderada pelo sistema nervoso. Shallice (1990) enfatiza que “... o poder da ‘inferência inconsciente’ é tão grande que uma ou outra percepção, que de outra forma seria clara, não pode persistir. Os resultados do processamento nos dois módulos perceptuais - visual e tátil - devem produzir representações do mundo que sejam consistentes.” (p.400).

Assim, além de depender do direcionamento da atenção, a percepção consciente parece depender das expectativas criadas (com base em memórias de regularidades passadas), da intencionalidade e da congruência da estimulação presente em relação a estes outros fatores.

Secção do corpo caloso e especialização inter-hemisférica

Experimentos envolvendo pacientes portadores de secção do corpo caloso (um feixe de fibras contendo milhões de axônios, que conecta ambos os hemisférios cerebrais) mostram que a capacidade de desempenhar ações altamente direcionadas nem sempre depende da percepção consciente.

Há cerca de 35 anos, pacientes vítimas de epilepsia multifocal intratável passaram a ser submetidos a um tratamento cirúrgico que envolvia a secção do corpo caloso e de outras comissuras cerebrais. O princípio desse tratamento envolve desconectar os dois hemisférios cerebrais de modo a restringir os ataques ao hemisfério que contém o foco epilép-

tico, diminuindo assim o número de surtos. De fato, o tratamento teve grande sucesso (Gazzaniga, 1967; Sperry, 1964).

Embora avaliações psicológicas de pacientes submetidos a esse tipo de tratamento mostrassem uma ausência de alterações detectáveis no temperamento, personalidade ou inteligência, e fossem, quando em situações sociais comuns, indistinguíveis de pessoas normais (Bogen, 1993; Gazzaniga, 1967), testes mais específicos (Sperry, 1970) (ver abaixo) permitiram evidenciar deficiências envolvendo a transferência inter-hemisférica de informações (Bogen, 1993). Como previamente demonstrado em gatos e macacos também submetidos a desconexão inter-hemisférica, os testes revelaram a existência de uma enorme especialização hemisférica nos seres humanos (Sperry, 1974).

É importante mencionar que do ponto de vista anátomo-funcional o lado esquerdo do corpo mantém conexões somatossensoriais e motoras com o hemisfério direito, enquanto o lado direito do corpo mantém esse tipo de conexões com o hemisfério esquerdo, ou seja, há um cruzamento total dessas vias sensoriais e motoras através do plano sagital do corpo. Em relação ao sistema visual, é sabido que as hemi-retinas nasal do olho esquerdo e temporal do olho direito, projetam-se para o hemisfério direito, enquanto as hemi-retinas temporal e nasal dos olhos esquerdo e direito, respectivamente, projetam-se para o hemisfério esquerdo. Esse tipo de organização permite produzir arranjos experimentais que possibilitam fornecer informações de diferentes modalidades sensoriais para cada um dos hemisférios cerebrais separadamente, de modo que a informação só alcança o outro hemisfério através das fibras que compõem o corpo caloso.

Na grande maioria dos pacientes com desconexão inter-hemisférica, quando luzes são apresentadas de modo a atingir apenas o hemisfério esquerdo do paciente, este imediatamente relata tê-las visto. Se as mesmas luzes forem apresentadas apenas para o hemisfério direito, os pacientes negam seu aparecimento; no entanto, se forem instruídos a apontar diretamente para a luz apresentada, exibem respostas apropriadas. Assim, embora não tenham vivenciado a experiência fenomenológica (conscientemente) sendo incapazes de *relatar verbalmente* as percepções do hemisfério direito, são capazes de atender a comandos verbais e a exibir um

comportamento indicativo de que a informação foi adequadamente processada (Gazzaniga, 1967).

Em 1970, Sperry relatou resultados ainda mais surpreendentes sobre este tipo de paciente. Num dos estudos, a palavra “noz” foi projetada no hemisfério esquerdo, e o paciente imediatamente a identificou e a verbalizou. No entanto, quando apresentada para o hemisfério direito, o paciente, com sua mão esquerda, procurava entre vários objetos até encontrar a noz. É importante mencionar que a mão não era vista pelo paciente, sendo o objeto identificado apenas pelo tato. Mais interessante, quando questionado sobre o que estava fazendo, o paciente era incapaz de responder ou mesmo de dizer que tinha pego uma noz com sua mão esquerda. Esse resultado indica que o hemisfério direito deste paciente foi capaz de ler a palavra projetada e de acionar seu córtex motor de modo a localizar o objeto (o que requer sequências complexas de movimentos); então, o reconhecimento do objeto foi realizado tatilmente (o que requer a participação do córtex somatossensorial) de modo que a tarefa completa requer a transferência de informações da modalidade visual (leitura da palavra) para a modalidade tátil, envolvendo, evidentemente, memória. Num outro estudo, a palavra “livro” foi projetada para o hemisfério direito. De posse de uma caneta na mão esquerda, e sem acesso visual a ela, o paciente escreveu a palavra “livro”. Se arguido sobre o que a mão escrevera, o paciente foi incapaz de relatar, embora tenha sentido os movimentos de seu corpo enquanto escrevia; nestas condições, algumas vezes os pacientes inventam (tentam adivinhar) uma resposta qualquer em relação ao que fizeram. Também o fazem quando estímulos com fortes componentes emocionais são apresentados apenas para o hemisfério direito. Por exemplo, se a fotografia de uma mulher nua for apresentada para o hemisfério direito de alguns destes pacientes do sexo masculino, os mesmos rirão desconcertadamente e descreverão uma sensação de embaraço, sem, no entanto, identificar a origem desse sentimento. Nessas circunstâncias os pacientes também tentam apresentar interpretações coerentes para seu próprio comportamento e sensação.

A apresentação visual da palavra “ande” para o hemisfério direito de um paciente com desconexão inter-hemisférica faz com que ele se

levante e comece a andar. Igualmente, a apresentação da palavra “ria” faz com que ele dê risadas. Quando se pede ao paciente que explique seu súbito comportamento ele diz: “- *Eu estou indo até a máquina buscar um refrigerante*” (no caso da palavra “andê”) ou “- *Vocês sempre me fazem esse monte de testes ... que jeito estranho de viver*” (no caso da palavra “ria”) (Gazzaniga, 1988, p.234). Ou seja, na ausência de uma explicação para o comportamento manifesto, o paciente confabula, buscando uma justificativa lógica para o seu comportamento. A projeção da mesma informação no hemisfério esquerdo é lida, percebida e comunicada pelo paciente como tendo sido apresentada em seu campo visual.

Esse mesmo fenômeno ocorre em testes de identificação de contexto. Por exemplo, Gazzaniga (1983) testou o paciente P.S., que tinha sido submetido à secção do corpo caloso, numa situação em que eram apresentadas duas figuras concomitantemente, uma para cada hemisfério cerebral; para o hemisfério esquerdo apresentou um pé de galinha e para o hemisfério direito o quadro de uma nevasca. Então, solicitou que o paciente escolhesse, dentre uma série de estímulos, aqueles que se associavam às figuras previamente apresentadas. P.S. escolheu uma figura de galinha com a mão direita e a de uma pá com a mão esquerda (pás são necessárias para retirar a neve dos quintais, após nevascas). Quando arguido sobre suas escolhas, P.S. respondeu: “- *Oh, isso é simples. O pé é da galinha...*” E confabulou: “- *...e você precisa de uma pá para limpar a sujeira que ela faz.*”

Com o passar dos testes os pacientes progressivamente adquirem uma variedade de estratégias para resolver sua deficiência de transferência inter-hemisférica. Por exemplo, quando uma informação é apresentada apenas para o hemisfério esquerdo, mas os pacientes devem desempenhar a ação com a mão esquerda, eles falam em voz alta o nome do objeto enquanto exploram-no manualmente. Como o hemisfério direito de alguns desses pacientes pode reconhecer palavras individuais, o objeto pode ser identificado pela mão esquerda o que, de outra forma, não seria possível (Bogen, 1993). Da mesma maneira, quando se utiliza uma situação de discriminação entre dois estímulos simples, como verbalizar se uma lâmpada apresentada ao hemisfério direito é verde ou vermelha, a

quantidade de acertos na sua primeira opção é sempre 50%, i.e., os pacientes tentam adivinhar. Quando o fazem acertadamente, satisfazem-se com a resposta; no entanto, quando sua adivinhação (e conseqüente verbalização) está errada, franzem a testa, mexem a cabeça em sinal negativo e, então, corrigem imediatamente sua resposta afirmando que deveriam ter dito a outra opção. Ou seja, o hemisfério esquerdo tentou adivinhar o que o direito viu. Ao “ouvir” a resposta errada, o hemisfério direito precipita uma resposta motora que sinaliza, para o hemisfério esquerdo, que a resposta estava errada; este, então, a corrige emitindo outro julgamento verbal. Esse mecanismo de sinalização pode tornar-se extremamente refinado (Gazzaniga, 1967).

Os resultados de estudos envolvendo pacientes com desconexão inter-hemisférica levou, inicialmente, alguns autores (e.g., Gazzaniga, 1967) à proposta de que o hemisfério esquerdo seria fundamental para a linguagem e para o desempenho de tarefas analíticas, tendo suas respostas priorizadas em relação ao hemisfério direito; de acordo com esse ponto de vista, o hemisfério esquerdo seria dominante em relação ao direito. Este último estaria mais habilitado para realizar tarefas visuo-espaciais, que requereriam habilidades sintéticas.

A conclusão mais interessante em relação a esses resultados, no entanto, seria a constatação de que uma vez separados, os dois hemisférios cerebrais humanos parecem capazes de funcionar fora do domínio consciente um do outro (ver Sperry, 1968, 1984). Segundo essa visão, cada hemisfério pode aprender, lembrar, ter emoções e conduzir planos de atividades independentemente.

Para Gazzaniga (1967), essas evidências indicavam que a separação dos hemisférios cria duas esferas independentes de consciência dentro de um único organismo. Essa idéia foi, mais tarde, modificada pelo próprio Gazzaniga (1995), com base no argumento de que esses resultados foram obtidos em pacientes cujo hemisfério direito apresentava boa compreensão de linguagem. Com a desconexão, o vocabulário do hemisfério direito desses pacientes pode, com o passar dos anos, crescer consideravelmente, alcançando níveis comparáveis ao vocabulário de adolescentes; mas essa compreensão de palavras, segundo o au-

tor, é raramente acompanhada de linguagem verdadeira. Por outro lado, esse hemisfério é capaz de produzir comportamentos, atividades cognitivas e mudanças de humor completos; embora admitindo que não seja possível, por ora, especificar a natureza das redes neurais envolvidas nesse processamento, Gazzaniga (1995) propôs que esses módulos funcionais operam fora do domínio da consciência mas “anunciam” seus produtos computacionais a sistemas executivos que “dão significado” aos produtos da computação. Assim, haveria um “módulo interpretador”, localizado no hemisfério esquerdo, responsável pela percepção consciente e pela formação de opiniões, que seria o responsável pela capacidade de descrever uma linha histórica ou narrativa das experiências autobiográficas. Segundo o autor, essa sensação de uniformidade e continuidade das próprias percepções, mesmo para indivíduos com secção do corpo caloso, reforça a noção de que existe um interpretador no hemisfério esquerdo intimamente relacionado com nossas capacidades linguísticas, que seria responsável pela percepção consciente. Isso não significa que o hemisfério direito não apresente processamentos altamente refinados; no entanto, esse processamento ocorreria de uma forma “imperceptível ou inconsciente”. As estratégias utilizadas pelos pacientes para compensar a ausência de comunicação inter-hemisférica refletiria, segundo essa concepção, a atividade dos centros interpretadores do hemisfério esquerdo para, através de pistas indiretas, oferecer uma interpretação lógica para os produtos computacionais do hemisfério direito.

A maioria desses estudos pressupõe que cada hemisfério cerebral constitui uma unidade funcional, um sistema independente que opera de forma similar, esteja conectado ou não com o outro hemisfério. Porém, há evidências experimentais de que não é assim. Por exemplo, o subteste dos “cubos” do WAIS (Wechsler Adult Intelligence Scale) requer que a pessoa organize de 4 a 9 cubos cujas faces são pintadas de branco, vermelho, e branco e vermelho, de modo que o padrão visual resultante se iguale ao de uma figura apresentada. Antes da secção do corpo caloso, pacientes desempenhavam essa tarefa tão bem quanto indivíduos normais, quando usavam a mão direita. Após a secção do corpo caloso, apa-

receram grandes dificuldades no desempenho da tarefa, tanto com a mão direita como com a esquerda. O tempo utilizado para resolver os padrões mais simples duplicou e a execução dos padrões mais complexos tornou-se impossível (Gazzaniga, 1988). Assim, como os resultados pós-operatórios, tanto para o hemisfério direito como para o esquerdo, estavam baixos, pode-se dizer que de alguma forma os hemisférios cooperavam, antes da cirurgia, para a solução da tarefa.

Conclusão

Esses fenômenos reforçam a concepção de funcionamento modular do sistema nervoso, onde cada sub-sistema realiza processamentos concomitantemente com o processamento de informações nos outros sub-sistemas. Fica assim patente que a consciência não é uma propriedade exclusiva de uma única porção indivisível do sistema nervoso, mas fruto do funcionamento integrado dos diferentes módulos.

No mesmo sentido, Xavier (1993) propôs que “...a habilidade para relacionar uma grande quantidade de informações passadas, presentes e antecipadas, proporciona flexibilidade ao controle comportamental, parecendo ser esta a principal vantagem evolutiva para o aparecimento do que se costuma chamar de consciência; ela parece estar baseada em atividades concomitantes de (...) módulos distribuídos nas redes neurais.” (p.106).

Em relação aos processos de integração da atividade dos diferentes módulos, o córtex pré-frontal parece preencher os requisitos necessários para o desempenho dessa função. De acordo com Xavier (1993), “...esta estrutura sofreu um visível aumento de área ao longo da evolução filogenética, tendo se tornado um dos mais proeminentes componentes do cérebro humano. Mesulam (1986) sugeriu que sua função está associada à organização de processos cognitivos como julgamento, perspicácia, curiosidade, abstração e criatividade. Suas conexões com outras estruturas do sistema nervoso são muito diversificadas. Nesse sentido, esta estrutura não só recebe informações sobre uma ampla gama de processamentos que ocorrem nos diferentes módulos do sistema nervoso, como pode influen-

ciar toda essa atividade, estimulando o funcionamento de alguns módulos e inibindo o funcionamento de outros (pois) (...) dada a natureza modular do processamento de informações no sistema nervoso, as informações sobre um determinado objeto ou evento são distribuídas continuamente através da rede de processamento, não sendo necessário que essa informação esteja plenamente representada para que possa influenciar a experiência, pensamento ou ação em curso, embora, sob determinadas condições ela possa tornar-se consciente. Sob este prisma, as características e o substrato anatômico possivelmente relacionados com a consciência assemelham-se aos envolvidos na memória operacional. Isto tem levado alguns autores a proporem que a consciência e a memória operacional correspondem ao mesmo processo (e.g., Baddeley, 1992).” (p.106-7).

Memória operacional é um conceito hipotético; de acordo com Baddeley e Hitch (1974) ela refere-se ao arquivamento temporário da informação para o desempenho de uma diversidade de tarefas cognitivas. Ainda, de acordo com esses autores, ela compreende um sistema de controle de atenção, o executor central, auxiliado por dois sistemas de suporte responsáveis pelo arquivamento temporário e manipulação de informações: a alça visuo-espacial e a alça fonológica. Para Baddeley (1992), o executor central seria um sistema de capacidade limitada que (1) proporcionaria a conexão entre os sistemas de suporte e a memória de longa duração, e (2) selecionaria estratégias e planos; sua atividade estaria relacionada ao funcionamento do córtex pré-frontal que teria a função de *supervisionar* informações a serem codificadas, armazenadas e evocadas, concomitantemente ao seu ingresso no sistema.

Diversas fontes de evidências favorecem o envolvimento do córtex pré-frontal na coordenação da atividade dos diferentes módulos (para revisão, ver Xavier, 1996). Por exemplo, Kapur, Craik, Jones, Brown, Houle e Tulving (1995) mostraram que *a tentativa* de evocar uma informação da memória episódica (um tipo de memória explícita para eventos autobiográficos) correlaciona-se com um aumento na atividade do córtex pré-frontal bilateralmente, mas maior no hemisfério direito; a *efetiva* evocação da informação armazenada, por sua vez, está associada a um aumento de atividade nas regiões corticais posteriores. Jonides, Smith,

Koeppel, Awh, Minoshima e Mintun (1993) mostraram que o desempenho de tarefas que envolvem memória operacional espacial é acompanhado por uma ativação do córtex pré-frontal direito e córtices occipital, parietal e pré-motor. Fuster (1995), baseado em experimentos envolvendo inativação temporária, por resfriamento, de diferentes regiões do sistema nervoso de macacos e estudos envolvendo PET (sigla para “positron emission tomography”, uma técnica utilizada para avaliar o nível de atividade em diferentes regiões do sistema nervoso enquanto os indivíduos desempenham uma tarefa cognitiva) em humanos, propôs que o córtex pré-frontal (dorso-lateral) tem importantes funções (1) na ativação de memórias arquivadas, o que requer sua cooperação com córtices associativos perceptuais localizados na porção posterior do sistema nervoso (v.tb., Cohen, Perlstein, Braver, Nystrom, Noll, Jonides & Smith, 1997), e (2) na preparação de uma ação planejada que envolve a cooperação com áreas corticais pré-motoras e gânglios basais.

As evidências apontadas acima mostram que o sistema nervoso também processa informações inconscientemente; isto é, discriminações, memórias, e processos elaborados de julgamento e solução de problemas podem ocorrer fora do domínio consciente, influenciando a experiência, pensamento ou ação em curso. Nesse sentido, parece interessante especular sobre como esse tipo de processamento, em determinadas circunstâncias, “ultrapassam o limiar” para tornarem-se fenomenicamente conscientes. De acordo com a proposta sobre as bases neurais da consciência aqui apresentada, esse processo poderia corresponder ao nível de atividade de cada um dos módulos, atividade essa que pode ser modulada pelo córtex pré-frontal, pela intensidade da informação apresentada ou pela interação com a atividade dos demais módulos.

Um último aspecto que merece consideração refere-se às situações em que ocorrem incongruências entre os produtos de processamento de diferentes módulos. Pode-se pensar que em caso de incompatibilidades entre as informações fornecidas por dois módulos, um deles seria inibido para que fosse mantida a congruência em relação à percepção final e a atividade dos demais módulos. Da mesma forma, danos em determinados módulos que resultem em falhas no fruto de seu processamento levarão o

sistema a gerar congruência ou a “inferir inconscientemente” (para usar o termo de Shallice, 1990) a condição mais provável para o contexto, a partir das informações presentes e do funcionamento dos demais módulos.

Em síntese, a consciência parece não estar localizada em qualquer centro restrito do sistema nervoso; antes, parece ser fruto da atividade em diferentes módulos amplamente dispersos no sistema nervoso cada qual processando informações específicas. Essas diversas representações integrar-se-iam em função de suas ativações sincrônicas que seriam mediadas pela extensa inter-conexão paralela entre os vários módulos de processamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Maria Cristina Magila, ao Dr. Erasmo Garcia Mendes e ao Dr. César Ades pelas críticas e sugestões à versão preliminar deste trabalho.

CAMPOS. A.; SANTOS. A.M.G.; XAVIER. G.F.; Consciousness as A Result of Brain Evolution and Functioning. *Psicologia USP*, São Paulo, v.8, n.2, p.181-226, 1997.

Abstract: Percepts, individuality, language, ideas, meaning, culture, choice, morals and ethics, all exist as a result of brain evolution and functioning. Concerns that assumptions of consciousness as a biological process will lead people to abandon moral and ethic behaviour are not attained. Investigation of consciousness as a natural, not mystical, phenomenon increases our possibility to understand it, with scientific, theoretical and social gains, in addition to moral and ethic ones. This paper discusses how evolution by natural selection, and the biological nervous system organization allow to explain individuality, intentionality, symbolic representations and meaning. Phenomena observed in neurologic patients emphasize the concept of modular organization of the nervous system; consciousness is not seen as a exclusive property of a single module but rather as a result of the synchronized work of different modules.

Index terms: Consciousness. Nervous system. Memory. Brain disorders. Perception.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, R.C.; SHIFFRIN, R.M. Human memory: a proposed system and its control processes. In: SPENCE, K.W., ed. *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*. New York, Academic Press, 1968. p.89-195.
- BADDELEY, A.D. The influence of acoustic and semantic similarity on long-term memory for word sequences. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.18, p.302-9, 1966a.
- BADDELEY, A.D. Short-term memory for word sequences as a function of acoustic, semantic and formal similarity. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.18, p.362-5, 1966b.
- BADDELEY, A.D. *Working memory*. Oxford, Oxford University Press, 1986.
- BADDELEY, A.D. Working memory. *Science*, v.255, p.556-9, 1992.
- BADDELEY, A.D.; HITCH, G. Working memory. In: BOWER, G.A., ed. *The psychology of learning and motivation*. New York, Academic Press, 1974. p.47-89.
- BADDELEY, A.D.; WARRINGTON, E.K. Amnesia and the distinction between long- and short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, v.9, n.2, p.176-89, 1970.
- BISIACH, E. The (haunted) brain and consciousness. In: MARCEL, A.J.; BISIACH, E., eds. *Consciousness in contemporary science*. New York, Oxford University Press, 1988. p.101-20.
- BISIACH, E.; BERTI, A.; VALLAR, G. Analogical and logical disorders underlying unilateral neglect of space. In: POSNER, M.I.; MARIN, O.S.M., eds. *Attention and performance IX*. Hillsdale, Lawrence Erlbaum, 1985. p.239-49.
- BISIACH, E.; LUZZATTI, C. Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, v.14, p.129-33, 1978.
- BOGEN, J.E. The callosal syndromes. In: HEILMAN, K.M.; VALENSTEIN, E., eds. *Clinical neuropsychology*. New York, Oxford University Press, 1993. p.337-407.
- BROWN, J. Some tests of the decay theory of immediate memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.10, p.12-21, 1958.
- COHEN, N.J. Preserved learning capacity in amnesia: evidence for multiple memory systems. In: SQUIRE, L.R.; BUTTERS, N., eds. *The neuropsychology of memory*. New York, Guilford Press, 1984. p.83-103.
- COHEN, J.D.; PERLSTEIN, W.M.; BRAVER, T.S.; NYSTROM, L.E.; NOLL, D.C.; JONIDES, J.; SMITH, E.E. Temporal dynamics of brain activation during a working memory task. *Nature*, v.386, p.604-7, 1997.
- DAMÁSIO, A.R. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. São Paulo, Companhia das Letras, 1996.

- DARWIN, C. *A origem das espécies*. São Paulo, EDUSP, 1985.
- DENNETT, D.C. *Darwin's dangerous idea: evolution and the meanings of life*. London, Penguin Books, 1995.
- DESCARTES, R. (1637). *Discourse on method*. Baltimore, Penguin Books, 1966.
- DIAMOND, J.M. Evolutionary physiology: the red flag of optimality. *Nature*, v.355, n.6357, p.204-6, 1992.
- EDELMAN, G.M. *Bright air, brilliant fire: on the matter of the mind*. New York, Basic Books, 1992.
- FARTHING, G.W. *The psychology of consciousness*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1992.
- FUSTER, J.M. *Memory in the cerebral cortex*. London, MIT Press, 1995.
- GATTASS, R. Os mapas da visão. *Ciência Hoje*, v.16, n.94, p.20-5, 1993.
- GAZZANIGA, M.S. Brain modularity: towards a philosophy of conscious experience. In: MARCEL, A.J.; BISIACH, E., eds. *Consciousness in contemporary science*. New York, Oxford University Press, 1988. p.218-38.
- GAZZANIGA, M.S. Consciousness and the cerebral hemispheres. In: GAZZANIGA, M.S. *The cognitive neurosciences*. Cambridge, A Bradford Book, 1995. p. 1391-401.
- GAZZANIGA, M.S. Nature's mind. New York, Basic Books, 1992.
- GAZZANIGA, M.S. Right hemisphere language: a twenty year perspective. *The American Psychologist*, v.38, n.5, p.525-37, 1983.
- GAZZANIGA, M.S. The split brain in man. In: HELD, R.; RICHARDS, W., eds. *Perception: mechanisms and models*. San Francisco, Freeman, 1967. p.29-34. Reading from Scientific American.
- GOLDBERG, T.E.; RAGLAND, J.D.; TORREY, E.F.; GOLD, J.M.; BIGELOW, L.B.; WEINBERGER, D.R. Neuropsychological assessment of monozygotic twins discordant for schizophrenia. *Archives of General Psychiatry*, v.47, n.11, p.1066-72, 1990.
- HALLIGAN, P.W.; MARSHALL, J.C.; WADE, D.T. Left on the right: Allochiria in a case of left visuo-spatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, v.55, p.717-19, 1992.
- HEILMAN, K.M.; WATSON, R.T.; VALENSTEIN, E. Neglect and related disorders. In: HEILMAN, K.M.; VALENSTEIN, E., eds. *Clinical Neuropsychology*. New York, Oxford University Press, 1993. p. 279-336.
- HUBEL, D.H.; WIESEL, T.N. The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *Journal of Physiology*, v.206, n.2, p.419-36, 1970.

- JONIDES, J.; SMITH, E.E.; KOEPPE, R.A.; AWH, E.; MINOSHIMA, S.; MINTUN, M.A. Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature*, v.363, p.623-5, 1993.
- KANDEL, E.R. Brain and behavior. In: KANDEL, E.R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSELL, T.M., eds. *Principles of neural science*. 3.ed. New York, Elsevier Science Publishing, 1991. p.5-17.
- KAPUR, S.; CRAIK, F.I.; JONES, C.; BROWN, G.M.; HOULE, S.; TULVING, E. Functional role of the prefrontal cortex in retrieval of memories: a PET study. *Neuroreport*, v.6, n.14, p.1880-4, 1995.
- KINSBOURNE, M. Model of consciousness: serial or parallel in the brain? In: GAZZANIGA, M.S. *The cognitive neurosciences*. Cambridge, A Bradford Book, 1995. p.1321-9.
- KINSBOURNE, M. Orientational bias model of unilateral neglect: evidence from attentional gradients within hemispace. In: ROBERTSON, I.H.; MARSHALL, J.C., eds. *Unilateral neglect: clinical and experimental studies*. Hove, Lawrence Erlbaum, 1993.
- MACIEL JR., J.A. Processamento da linguagem: modelos anátomo-funcionais. In: NITRINI, R.; CARAMELLI, P.; MANSUR, L.L., eds. *Neuropsicologia: das bases anatômicas à reabilitação*. São Paulo, Clínica Neurológica do Hospital das Clínicas da FMUSP, 1996. p.171-81.
- MANSUR, L.L.; SENAHA, M.L.H. Distúrbios de linguagem oral e escrita e hemisfério esquerdo. In: NITRINI, R.; CARAMELLI, P.; MANSUR, L.L., eds. *Neuropsicologia: das bases anatômicas à reabilitação*. São Paulo, Clínica Neurológica do Hospital das Clínicas da FMUSP, 1996. p.183-201.
- MERZENICH, M.M.; JENKINS, W.M. Reorganization of cortical representations of the hand following alterations of skin inputs induced by nerve injury, skin island transfers, and experience. *Journal of Hand Therapy*, v.6, n.2, p.89-104, 1993.
- MESULAM, M. Frontal cortex and behavior. *Annals of Neurology*, v.19, p.320-5, 1986.
- MEUDELL, P.; MAYES, A. The clapadete phenomenon: a further example in amnesics, a demonstration of a similar effect in normal people with attenuated memory, and a reinterpretation. *Current Psychological Research*, v.1, p.75-88, 1981.
- MILNER, B.; CORKIN, S.; TEUBER, H.L. Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: fourteen year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, v.6, p.215-34, 1968.
- O'KEEFE, J.; NADEL, L. *The hippocampus as a cognitive map*. London, Oxford University Press, 1978.
- PETERSON, L.R.; PETERSON, M.J. Short-term retention of individual verbal items. *Journal of Experimental Psychology*, v.58, p.193-8, 1959.

- PINKER, S.; BLOOM, P. Natural language and natural selection. *Behavioral and Brain Sciences*, v.13, n.4, p.707-84, 1990.
- PRESS, G.A.; AMARAL, D.G.; SQUIRE, L.R. Hippocampal abnormalities in amnesic patients revealed by high-resolution magnetic resonance imaging. *Nature*, v.341, p.54-7, 1989.
- PRIBRAM, K.H. The hippocampal system and recombinant processing. In: ISAACSON, R.L.; PRIBRAM, K.H., eds. *The hippocampus*. 4.ed. New York, Plenum Press, 1986. p.329-70.
- RAMACHANDRAN, V.S. Blind spots. *Scientific American*, v.266, n.5, p.44-9, 1992.
- RODMAN, H.R.; GROSS, C.G.; ALBRIGHT, T.D. Afferent basis of visual response properties in area MT of the macaque I: effects of striate cortex removal. *Journal of Neuroscience*, v.9, n.6, p.2033-50, 1989.
- RUBENS, A.B. Caloric stimulation and unilateral visual neglect. *Neurology*, v.35, p.1019-24, 1985.
- SCOVILLE, W.B.; MILNER, B. Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, v.20, p.11-21, 1957.
- SHALLICE, T. *From neuropsychology to mental structure*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- SHALLICE, T.; WARRINGTON, E.K. Independent functioning of verbal memory stores: a neuropsychological study. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.22, p.261-73, 1970.
- SHERRY, D.F.; SCHACTER, D.L. The evolution of multiple memory systems. *Psychological Review*, v.94, n.4, p.439-54, 1987.
- SILBERPFENNIG, J. Contributions to the problem of eye movements: III, disturbance of ocular movements with pseudo hemianopsia in frontal tumors. *Confinia Neurologica*, v.4, p.1-13, 1949.
- SPERRY, R.W. Consciousness, personal identity and the divided brain. *Neuropsychologia*, v.22, n.6, p.661-73, 1984.
- SPERRY, R.W. The great cerebral commissure. *Scientific American*, v.210, p.42-52, 1964.
- SPERRY, R.W. Lateral specialization in the surgically separated hemisphere. In: SCHMITT, F.O.; WORDEN, F.G., eds. *The neurosciences: third study program*. Cambridge, MA, MIT Press, 1974. p.5-19.
- SPERRY, R.W. *Mental unity following surgically disconnection of the cerebral hemispheres*. New York, Academic Press, 1968. p.293-323. (The Harvey Lectures Series, 62)
- SPERRY, R.W. Perception in the absence of the neocortical commissures. In: *Perception and its disorders*. New York, The Association for Research in Nervous

- and Mental Disease, 1970. (Research Publications: Association for Research in Nervous and Mental Disease, v.48)
- SQUIRE, L.R. Memory and the hippocampus: a synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychological Review*, v.99, n.3, p.195-231, 1992.
- SQUIRE, L.R.; KNOWLTON, B.J. Memory, hippocampus, and brain systems. In: GAZZANIGA, M.S. *The Cognitive Neurosciences*. Cambridge, A Bradford Book, 1995. p. 825-37.
- SQUIRE, L.R.; ZOLA-MORGAN, S. The medial temporal lobe memory system. *Science*, v.253, p.1380-6, 1991.
- VALLAR, G.; RUSCONI, M.L.; BISIACH, E. Awareness of contralesional information in unilateral neglect: effects of verbal cueing, tracing and vestibular stimulation. In: MOSCOVITCH, M.; UMILTÀ, C., eds. *Attention and performance XV*. Cambridge, MA, MIT Press, 1994.
- VALLAR, G.; STERZI, R.; BOTTINI, G.; CAPPÀ, S.; RUSCONI, M.L. Temporary remission of left hemianesthesia after vestibular stimulation: a sensory neglect phenomenon. *Cortex*, v.26, p.123-31, 1990.
- WEISKRANTZ, L. *Blindsight: a case study and implications*. Oxford, Oxford University Press, 1986.
- WEISKRANTZ, L. Some contributions of neuropsychology of vision and memory to the problem of consciousness. In: MARCEL, A.J.; BISIACH, E., eds. *Consciousness in contemporary science*. New York, Oxford University Press, 1988. p.183-9.
- XAVIER, G.F. Memória: correlatos anátomo-funcionais. In: NITRINI, R.; CARAMELLI, P.; MANSUR, L.L., eds. *Neuropsicologia: das bases anatômicas à reabilitação*. São Paulo, Clínica Neurológica do Hospital das Clínicas da FMUSP, 1996. p.107-29.
- XAVIER, G.F. A modularidade da memória e o sistema nervoso. *Psicologia USP*, v.4, n.1/2, p. 61-115, 1993.
- XAVIER, G.F.; SAITO, M.I.P.; STEIN, C. Habituation of exploratory activity to new stimuli, to the absence of the absence of a previously presented stimulus and new contexts, in rats. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, v.43B, n.2, p.157-75, 1991.
- ZOLA-MORGAN, S.; SQUIRE, L.R.; AMARAL, D.G. Human amnesia and the medial temporal region: enduring memory impairment following a bilateral lesion limited to field CA1 of the hippocampus. *Journal of Neuroscience*, v.6, n.10, p.2950-67, 1986.