

INE.EAD

INSTITUTO NACIONAL DE ENSINO

CAPACITAÇÃO

PROFISSIONAL

NEUROCIÊNCIAS

E

FUNÇÕES COGNITIVAS

PROFESSOR (A) : COORDENAÇÃO PEDAGÓGICA

SUMÁRIO

Breve História da Neurociência Cognitiva	3
PENSANDO SOBRE AS GRANDES QUESTÕES	3
A HISTÓRIA DO CÉREBRO.....	5
MARCOS EM NEUROCIÊNCIA COGNITIVA	16
O SÉCULO XX	18
NEUROCIÊNCIA COGNITIVA.....	28
O SÚBITO NASCIMENTO DO IMAGEAMENTO CEREBRAL	30
Funções Cognitivas: Bases Neuroanatômicas e Circuitarias	32
Sensação e Percepção.....	34
Atenção	36
Linguagem.....	40
Habilidades Visuoconstrutivas	42
Funções Executivas.....	42
REFERÊNCIAS	47

Breve História da Neurociência Cognitiva

Do que trata o campo da neurociência cognitiva? De onde surgiu? Para onde está indo? Começamos este livro com uma breve história das pessoas e das ideias que levaram ao novo campo da neurociência cognitiva, aquele que tem suas raízes na neurologia, na neurociência e na ciência cognitiva. A neurociência cognitiva, atualmente, representa um híbrido de disciplinas, de maneira que um estudante da mente deve estar atento a ter conhecimento em várias áreas para entender completamente os tópicos nela estudados. E esta área muda rapidamente.

PENSANDO SOBRE AS GRANDES QUESTÕES

O campo científico da neurociência cognitiva recebeu este nome no final da década de 1970, no banco traseiro de um táxi da cidade de Nova York. Um de nós, Michael S. Gazzaniga, estava com o grande fisiologista cognitivo George A. Miller, a caminho de um jantar de confraternização no Hotel Algonquin. O jantar era oferecido por cientistas das Universidades Rockefeller e Cornell, que estavam se esforçando para estudar como o cérebro dá origem à mente, um assunto que necessitava de um nome. Desta corrida de táxi surgiu o termo neurociência cognitiva, que foi aceito na comunidade científica.

Agora a questão é: O que isto significa? Para responder a essa intrigante questão, precisamos voltar atrás e olhar não somente para a história do pensamento humano, mas também para as disciplinas científicas de biologia, psicologia e medicina.

Para compreender as propriedades miraculosas das funções cerebrais, você deve ter em mente que foi a Mãe Natureza que as criou, e não uma equipe de engenheiros racionais. Apesar da Terra ter sido formada há aproximadamente 5 bilhões de anos, e da vida ter surgido há cerca de 3,5 bilhões de anos, os encéfalos humanos, na sua forma final, apareceram há somente 100.000 anos. O encéfalo dos primatas apareceu há aproximadamente 20 milhões de anos, e a evolução tomou seu

curso para construir o encéfalo humano de hoje, capaz de todo o tipo de façanhas maravilhosas – e banais.

Durante grande parte da história, os humanos estiveram muito ocupados para ter chance de pensar sobre o pensamento. Embora não se tenha dúvida de que o encéfalo humano possa exercer tais atividades, a vida exigia atenção a aspectos práticos, como a sobrevivência em ambientes adversos, a criação de melhores maneiras de viver, inventando a agricultura ou domesticando animais, e assim por diante. Entretanto, logo que a civilização se desenvolveu a ponto de que o esforço diário para sobreviver não ocupasse todas as horas do dia, nossos ancestrais começaram a dedicar mais tempo construindo teorias complexas sobre as motivações dos seres humanos. Exemplos de tentativas de compreender o mundo e nosso lugar nele incluem Oedipus Rex (Édipo Rei), a antiga peça do teatro grego que lida com a natureza do conflito pai-filho e as teorias mesopotâmica e egípcia sobre a natureza da religião e do universo. Os mecanismos cerebrais que possibilitam a geração de teorias sobre a característica da natureza humana prosperaram no pensamento dos ancestrais humanos. Ainda assim eles tinham um grande problema: não possuíam a habilidade de explorar a mente de forma sistemática por meio da experimentação.

Em um trecho de um diário de 1846, o brilhante filósofo Soren Kierkegaard escreveu:

Um homem deve dizer simples e profundamente que não compreende como a consciência leva à existência – é perfeitamente natural. Mas um homem deve grudar seus olhos em um microscópio e olhar e olhar – e ainda assim não ser capaz de ver como está acontecendo –; é ridículo, e é particularmente ridículo quando se supõe que isto é sério... Se as ciências naturais estivessem desenvolvidas nos tempos de Sócrates como estão agora, todos os sofistas seriam cientistas. Haveria microscópios pendurados do lado de fora das lojas para atrair fregueses e teria uma placa dizendo: “Aprenda e veja através de um microscópio gigante como um homem pensa (e, lendo esta placa, Sócrates teria dito: ‘Assim se comporta um homem que não pensa’)”.

O prêmio Nobel Max Delbrück (1986) iniciou seu fascinante relato sobre a evolução do cosmos no livro *Mind from Matter?* com esta citação de Kierkegaard. Delbrück faz parte da tradição moderna que se iniciou no século XIX. Observa,

manipula, mede e começa a determinar como o encéfalo faz o seu trabalho. O pensamento teórico é algo maravilhoso e produziu ciências fascinantes, como as teorias da física e da matemática. Contudo, para entender como um sistema biológico funciona, é necessário um laboratório, e experimentos têm de ser realizados. Ideias derivadas da introspecção podem ser eloquentes e fascinantes, mas elas são verdadeiras? A filosofia pode acrescentar perspectivas, mas estariam corretas? Somente o método científico pode guiar um tópico por um caminho seguro. Pense sobre a riqueza de fenômenos a serem estudados. Pegue a percepção de faces, por exemplo. Alguns dizem que o cérebro tem um sistema especial para reconhecimento de faces. Esse sistema especializado foi identificado porque pacientes com certas lesões cerebrais tinham dificuldade em reconhecer faces de todo o tipo. Cientistas imediatamente debateram sobre a possível existência de um sistema especializado. Não, alguns disseram, o dano seria com a percepção de objetos em geral, não com faces em particular. Eles mostraram pesquisas que sugeriam que pessoas com dificuldades em reconhecer faces também tinham problemas em reconhecer objetos ou faces de animais.

Mas eis que surge um novo caso. Um paciente, com grande dificuldade em identificar objetos do dia-a-dia, não tinha problema para identificar faces! De fato, se a face era composta de frutas arrumadas de modo a parecer uma face, o paciente dizia que via uma face, mas não reconhecia que ela era feita de frutas! Incrível, mas real. Parecia, então, que um sistema especial no cérebro reconhecia faces; esse seria ativado para produzir a percepção em nossa consciência por meio da configuração de elementos. Este processador especial de faces não sabe e não se importa com os elementos que as compõem: desde que os elementos estejam de acordo, uma face é percebida. O que poderia ser mais fascinante do que estudar como o cérebro faz tais coisas?

A HISTÓRIA DO CÉREBRO

Um problema lhe é dado para ser resolvido. Sabe-se que uma fatia de tecido biológico pensa, lembra, presta atenção, resolve problemas, deseja sexo, pratica jogos, escreve novelas, expressa preconceito e faz milhões de outras coisas. É

proposto que você descubra como isso acontece. Antes de começar, você pode fazer algumas perguntas. O tecido trabalha como uma unidade, com todas as partes contribuindo como um todo? Ou ele é cheio de processadores individuais, cada um deles tendo suas funções específicas, resultando em algo que parece funcionar como uma só unidade? Lembre-se que, a distância, a cidade de Nova York parece um todo integrado, mas na realidade ela é composta de milhões de processadores individuais, que são as pessoas. Talvez as pessoas, por sua vez, sejam feitas de unidades menores, mais especializadas.

Este tema central – se o cérebro funciona como um todo, ou se partes dele trabalham independentemente, constituindo a mente – é o que alimenta muito das pesquisas modernas. Como veremos, a visão dominante mudou nos últimos 100 anos, e continua a mudar. Tudo começou no século XIX, quando os frenologistas, liderados por Franz Joseph Gall e J. G. Spurzheim (entre 1810 e 1819), declararam que o cérebro era organizado com cerca de 35 funções específicas (Figura 1.1). Essas funções, que variavam de funções básicas cognitivas, como a linguagem e a percepção da cor, até capacidades mais efêmeras, como a esperança e a autoestima, eram concebidas como sendo mantidas por regiões específicas do cérebro. Além disso, se uma pessoa usava uma das faculdades com mais frequência que as outras, a parte do cérebro que representava esta função devia crescer.

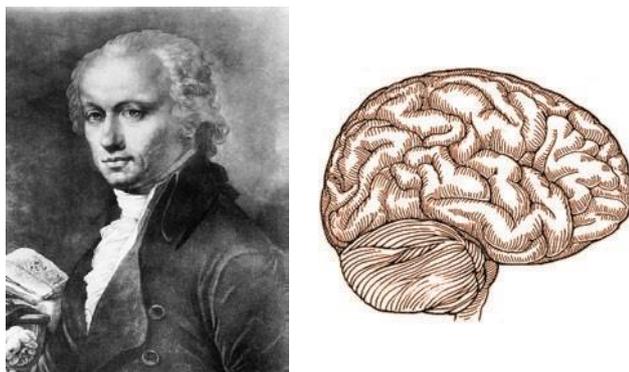


Figura 1.1

Esquerda: Franz Joseph Gall. Um dos fundadores da frenologia no início do século XIX.

Direita: O hemisfério direito do encéfalo, por Gall e Spurzheim, em 1810.

De acordo com os frenologistas, esse aumento do tamanho de uma região cerebral causaria uma distorção no crânio. Logicamente, então, Gall e colaboradores

acreditaram que uma análise detalhada da anatomia do crânio poderia descrever a personalidade de uma pessoa. Ele chamou esta técnica de personologia anatômica (Figura 1.2).

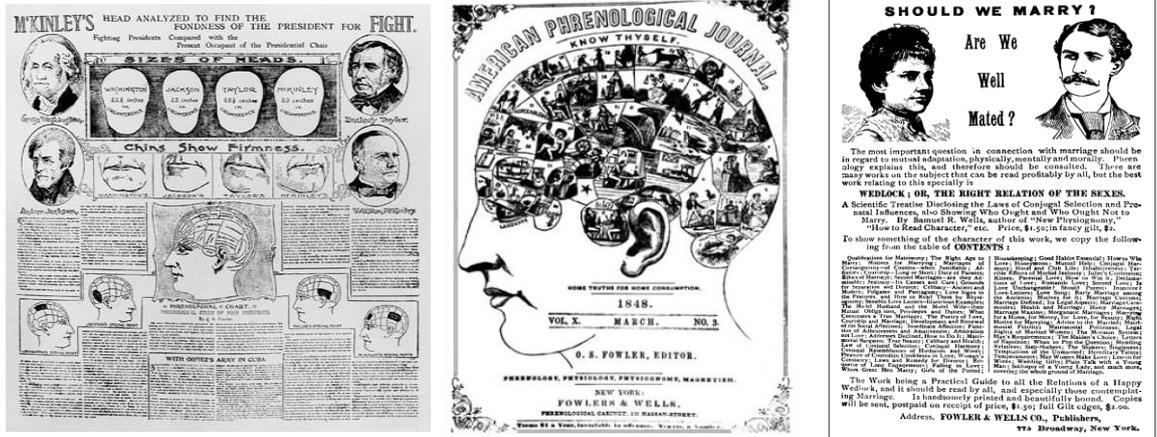


Figura 1.2

Esquerda: Uma análise dos presidentes Washington, Jackson, Taylor e Mckinley, por Jessie A. Fowler; Phrenological Journal, junho 1898.

Centro: O mapa frenológico das características pessoais no crânio; American Phrenological Journal, 1850.

Direita: A publicação de Fowler e Wells Company sobre compatibilidade matrimonial em conexão com a frenologia, 1888.

Gall, médico e neuroanatomista austríaco, não era um cientista, pois não testava suas ideias; a melhor parte de seu esforço foi direcionada para a análise do córtex cerebral, particularmente da sua superfície, e para enfatizar a ideia de que diferentes funções cerebrais são localizadas em discretas regiões cerebrais.

O fisiologista experimental Pierre Flourens questionou a visão **localizacionista** de Gall (Figura 1.3). Um grande número de pessoas rejeitou a ideia de que processamentos específicos, como a linguagem e a memória, eram localizados em regiões circunscritas do encéfalo, e Flourens tornou-se seu porta-voz. Ele estudava animais, especialmente pássaros, e descobriu que lesões em áreas particulares do cérebro não causavam certos déficits duradouros de comportamento. Não importava onde fizesse a lesão no encéfalo, o pássaro sempre se recuperava. Ele desenvolveu, então, a noção de que todo o cérebro participa no comportamento, uma visão conhecida posteriormente como **campo agregado**. Em 1824, Flourens escreveu:

“Todas as sensações, todas as percepções, e todas as vontades ocupam o mesmo espaço nestas estruturas (cérebro). As faculdades de sensação, percepção e vontade são, essencialmente, uma só faculdade”.

Trabalhos realizados no continente europeu e na Inglaterra ajudaram a retomada da visão localizacionista. Na Inglaterra, por exemplo, o neurologista John Hughlings Jackson (Figura 1.4) passou a publicar suas observações sobre o comportamento das pessoas com lesão cerebral. Uma das principais características dos escritos de Hughlings Jackson foi a incorporação da sugestão de experimentos para testar suas observações. Ele notou, por exemplo, que durante o início das convulsões, alguns pacientes epiléticos moviam-se de modo característico, e parecia que as convulsões estimulavam um ponto correspondente do corpo no cérebro; assim, movimentos tônicos e clônicos dos músculos, produzidos pelo disparo epilético anormal dos neurônios no encéfalo, progrediam de maneira ordenada de uma parte do corpo para outra. Esse fenômeno o levou a propor uma organização topográfica no córtex cerebral: nesta visão, um mapa do corpo era representado em uma área cortical particular. Hughlings Jackson foi um dos primeiros a observar essa característica essencial da organização cerebral.

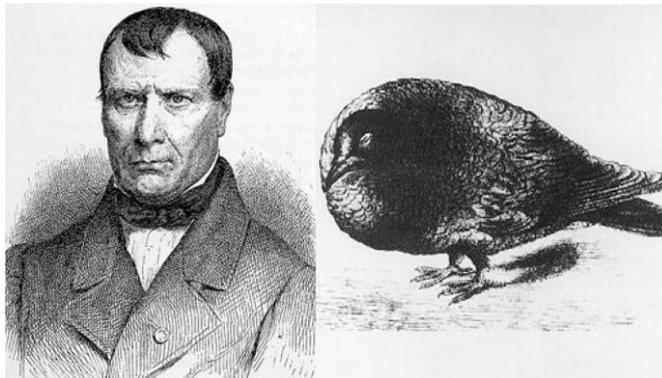


Figura 1.3

Esquerda: Pierre Jean Marie Flourens (1794-1867), que apoiava a ideia que depois se chamou de campo agregado.

Direita: A posição de um pombo destituído de seus hemisférios cerebrais como descrito por Flourens.

Embora Hughlings Jackson também tenha sido o primeiro a observar que lesões no lado direito do encéfalo afetam processos visuoespaciais mais do que

lesões no lado esquerdo, ele não afirmou que partes específicas do lado direito do encéfalo estavam intimamente ligadas a essa importante função cognitiva humana. Hughlings



Figura 1.4 John Hughlings Jackson, neurologista inglês que foi um dos primeiros a reconhecer a visão localizacionista.

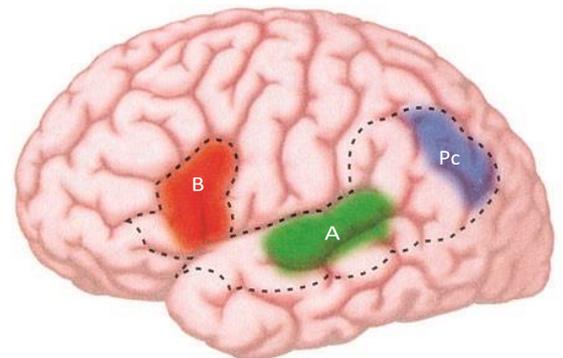


Figura 1.5 **Esquerda:** Pierre Paul Broca. **Direita:**As conexões entre os centros da fala, no artigo de Wernicke sobre afasia. B = área motora da fala, de Broca; A = centro sensorial da fala, de Wernicke; Pc = área relacionada à linguagem

Jackson, um neurologista clínico muito observador, notou que era raro um paciente perder totalmente uma função. A maioria das pessoas que perdiam a

capacidade de falar após um acidente vascular cerebral, por exemplo, ainda conseguia falar algumas palavras. Pacientes incapazes de direcionar suas mãos voluntariamente para locais específicos do corpo ainda podiam coçar nesse lugar caso sentissem coceira. Quando Hughlings Jackson fez tais observações, ele concluiu que muitas regiões do encéfalo contribuíam para um dado comportamento. Nessa mesma época, na França, talvez o mais famoso caso de neurologia da história foi relatado por Paul Broca (Figura 1.5). Em 1861, ele tratou um homem que havia sofrido um acidente vascular cerebral; o paciente podia entender a linguagem, mas não conseguia falar. Consistente com as observações de Hughlings Jackson, entretanto, o paciente podia murmurar algumas coisas – como o som “tam”. Esses pacientes em geral falam automaticamente; assim, enquanto apenas dizem “tam, tam, tam...” em resposta à questão “quem é você?”, podem facilmente contar de um a dez de maneira normal.

A exata parte do cérebro que estava lesionada no paciente de Broca era o lobo frontal esquerdo. Denominouse, posteriormente, esta região de área de Broca. O impacto de seus achados foi enorme. Aqui havia um aspecto exclusivo da linguagem que estava prejudicado por uma lesão específica. Esse tema foi escolhido pelo neurologista alemão Carl Wernicke. Em 1876, quando tinha apenas 26 anos, ele relatou o caso de uma vítima de acidente vascular cerebral que podia falar quase normalmente, diferentemente do paciente de Broca, mas o que ele falava não fazia sentido. O paciente de Wernicke também não compreendia a linguagem escrita ou falada. Ele tinha uma lesão numa região mais posterior do hemisfério esquerdo, na área e ao seu redor, onde os lobos parietal e temporal se encontram. Hoje, essas diferenças sobre como o encéfalo responde a doenças focais já são bem-compreendidas. Todos os neurologistas, em todos os hospitais, sabem dessas coisas. Contudo, há pouco mais de 100 anos, as descobertas de Broca e Wernicke fizeram “tremor a Terra”. Filósofos, médicos e os primeiros psicólogos assumiram um ponto de partida fundamental: doenças focais causam déficits específicos. Naquela época, os investigadores eram limitados em sua habilidade para identificar as lesões dos pacientes. Os médicos podiam observar o local do dano – por exemplo, uma lesão penetrante provocada por uma bala –, mas eles tinham de esperar o paciente morrer para determinar o local da lesão. A morte podia levar meses ou anos, e, em alguns

casos, geralmente não era possível realizar a observação: o médico perdia contato com o paciente após sua recuperação, e, quando este finalmente morria, o médico não era informado e assim não podia examinar o encéfalo e correlacionar a lesão cerebral com os déficits de comportamento da pessoa. Hoje, o local da lesão cerebral pode ser determinado em poucos minutos com métodos de imagem que mapeiam e fotografam o encéfalo vivo. Vamos aprender sobre essas técnicas conforme avançarmos na leitura deste livro. (Como uma observação histórica interessante, o encéfalo do paciente famoso de Broca foi preservado. Mapeamentos recentes do encéfalo deste paciente revelaram que a lesão era muito maior do que aquela descrita por Broca.)

Como acontece na maioria dos casos, os estudos em humanos levaram a questões para aqueles que trabalham com modelos animais. Logo após a descoberta de Broca, os fisiologistas alemães Gustav Fritsch e Eduard Hitzig estimularam eletricamente pequenas partes do encéfalo de um cão e observaram que este estímulo produzia movimentos característicos no animal (Figura 1.6). Essa descoberta levou os neuroanatomistas a uma análise mais detalhada do córtex cerebral e sua organização celular; eles queriam apoio para suas ideias sobre a importância de regiões localizadas. Como essas regiões executavam diferentes funções, concluíram que deviam olhar de modo diferente o nível celular.

Seguindo essa lógica, os neuroanatomistas alemães começaram a analisar o encéfalo utilizando métodos microscópicos para ver tipos de células em diferentes regiões cerebrais. Talvez o mais famoso no grupo fosse Korbinian Brodmann, que analisou a organização celular do córtex e caracterizou 52 regiões diferentes (Figura 1.7). Brodmann usou tecidos corados, como aqueles desenvolvidos por Franz Nissl, que permitiram que ele visualizasse diferentes tipos de células em diferentes regiões cerebrais. Como as células diferiam entre as regiões cerebrais, essa divisão foi chamada de citoarquitetônica, ou arquitetura celular. Logo, muitos anatomistas agora famosos, incluindo Oskar Vogt, Vladimir Betz, Theodor Meynert, Constantin von Economo, Gerhardt von Bonin e Percival Bailey, e muitos subdividiram o córtex ainda mais do que Brodmann havia feito. De maneira mais ampla, esses investigadores descobriram que várias áreas cerebrais descritas pela citoarquitetura realmente

representavam regiões cerebrais funcionalmente diferentes. Por exemplo, Brodmann foi o primeiro a distinguir as áreas 17 e 18, distinção essa que provou ser correta em estudos funcionais subsequentes. A caracterização da área visual primária do córtex, área 17, como sendo distinta da área 18, demonstrou o poder do estudo da abordagem pela citoarquitetura.

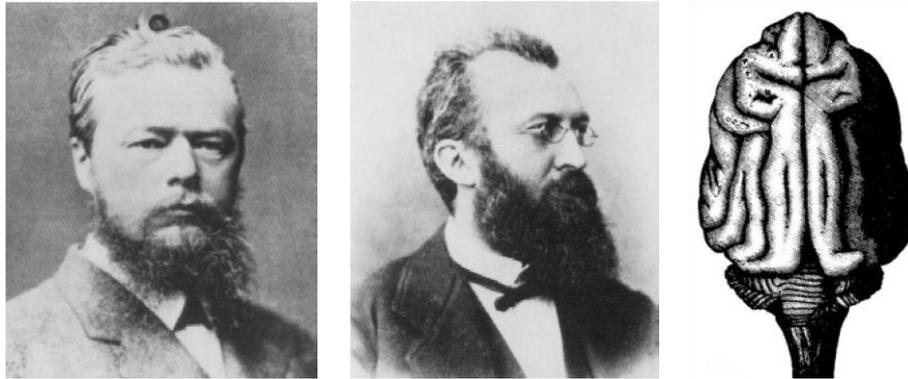


Figura 1.6 Esquerda: O fisiologista e anatomista Gustav Theodor Fritsch (1838-1907). Centro: O professor de Psiquiatria Eduard Hitzig (1838-1927). Direita: Ilustração original de Fritsch e Hitzig do córtex de um cachorro, por Fritsch e Hitzig.

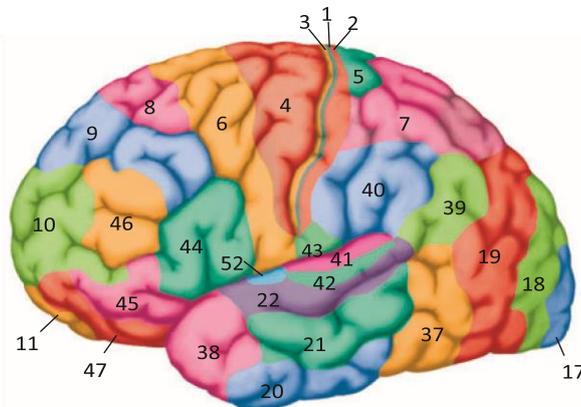


Figura 1.7 As 52 áreas distintas descritas por Brodmann, baseadas na estrutura e no arranjo celulares. Adaptada de Brodmann (1909).

No entanto, a grande revolução na nossa compreensão sobre o sistema nervoso estava ocorrendo mais ao sul da Europa, na Itália e na Espanha. Lá, uma luta intensa ocorria entre dois brilhantes neuroanatomistas. Estranhamente, foi o trabalho de um deles que levou à compreensão do trabalho do outro. O italiano Camillo Golgi desenvolveu uma coloração que impregnava neurônios individuais com prata (Figura

1.8). Essa coloração permitia a visualização completa de um único neurônio. Usando o método de Golgi, o espanhol Santiago Ramón y Cajal descobriu que, ao contrário da visão de Golgi e outros, os neurônios eram entidades únicas (Figura 1.9). Golgi acreditava que todo o encéfalo era um **sincício**, ou uma massa contínua de tecido que compartilhava um único citoplasma! Cajal estendeu seus achados e foi o primeiro a identificar não somente a natureza unitária do neurônio, mas também a transmissão de informação elétrica em uma única direção, dos dendritos para a extremidade do axônio (Figura 1.10).

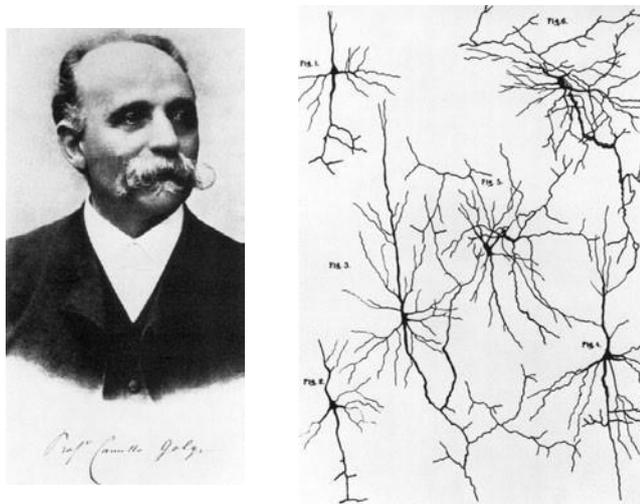


Figura 1.8 Esquerda: Camillo Golgi (1843-1926), co-vencedor do Prêmio Nobel em 1906. Direita: Desenhos de Golgi de diferentes tipos de células ganglionares em cachorro e gato.

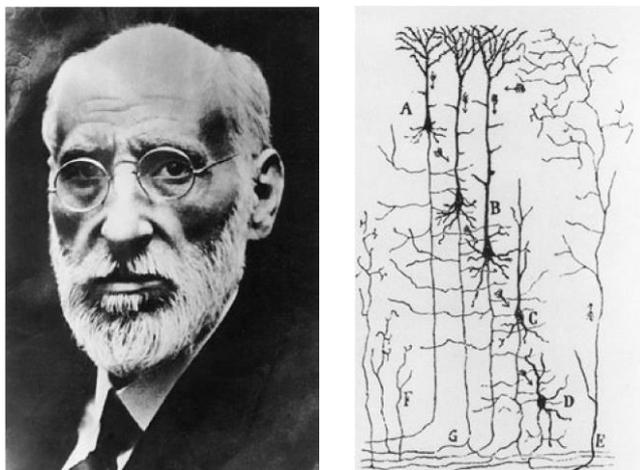


Figura 1.9 **Esquerda:** Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), co-vencedor do Prêmio Nobel de 1906. **Direita:** Desenhos de Cajal das aferências no córtex de mamíferos.

Muitos cientistas genuinamente brilhantes estiveram envolvidos na história inicial da **doutrina neuronal**. Por exemplo, Johannes Evangelista Purkinje – um tcheco educado em Praga, à época ainda controlada pelos alemães, que teve de viajar para a Polônia para conseguir uma posição na universidade (Figura 1.11) – descreveu não somente a primeira célula nervosa, mas também inventou o estroboscópio, descreveu fenômenos visuais comuns e encaminhou uma série de outras descobertas.

Até mesmo Sigmund Freud entrou na história do neurônio (Figura 1.12). Como um jovem cientista, ele estudou anatomia microscópica com o grande anatomista alemão Ernst Brücke. Freud escreveu um ensaio sobre seu trabalho subsequente e independente acerca do lagostim. Na realidade, algumas das biografias de Freud sugerem que ele também defendeu a ideia de que o neurônio era uma unidade fisiológica distinta e separada.

Hermann von Helmholtz, talvez um dos mais famosos cientistas de todos os tempos, também contribuiu para os primeiros estudos sobre o sistema nervoso (Figura 1.13). Ele foi o primeiro a sugerir que os invertebrados seriam bons modelos para entender os mecanismos cerebrais dos vertebrados. Helmholtz também fez grandes contribuições para a física, a medicina e a psicologia. O fenômeno de um famoso cientista fazer contribuições significativas para distintas áreas pode ser algo do passado. Não que tais coisas não aconteçam nos dias de hoje, elas somente não são facilmente reconhecidas. A ciência hoje é um enorme empreendimento, e cada sub disciplina tem seu próprio quadro de heróis e vilões. Esses guardiões de um determinado tema relutam em deixar estranhos entrarem em seus debates.

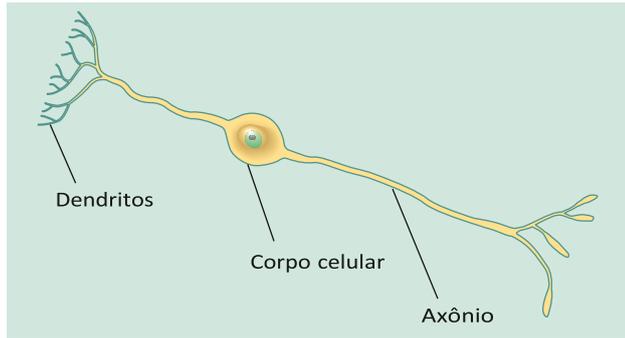


Figura 1.10 Uma célula bipolar da retina.

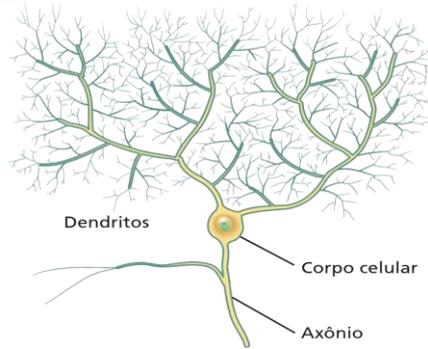
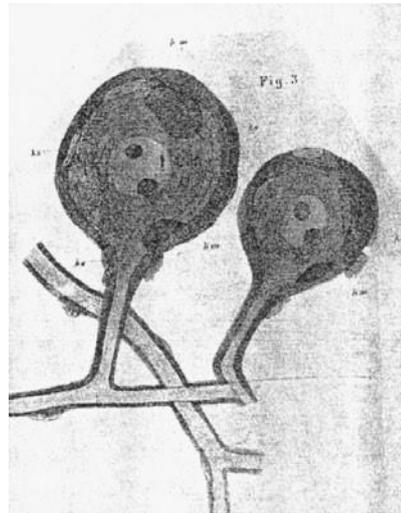
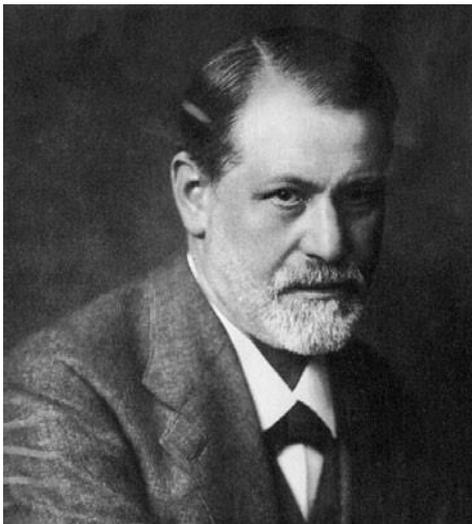


Figura 1.11 Esquerda: Johannes Evangelista Purkinje, que descreveu o primeiro neurônio no sistema nervoso. Direita: Uma célula de Purkinje do cerebelo.

Figura 1.12 Esquerda: Sigmund Freud (1856-1939). Direita: Do seu trabalho com o lagostim, Freud publicou esta ilustração como um exemplo de anastomose de fibras nervosas, um conceito que Cajal mostrou estar errado.

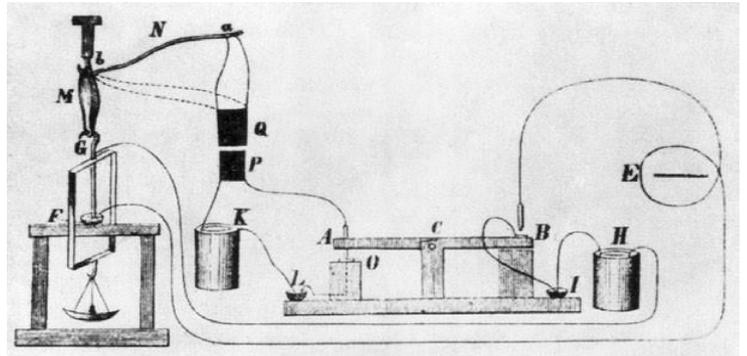


Figura 1.13 Esquerda: Hermann Ludwig von Helmholtz (1821-1894). Direita: O aparelho de Helmholtz para medir a velocidade de condução nervosa.

MARCOS EM NEUROCIÊNCIA COGNITIVA

Shepherd (1992) recontou a fascinante história de Camillo Golgi e a comparou com a de Cajal. Nascido perto de Milão, Golgi, filho de um médico, recebeu seu diploma de medicina aos 22 anos de idade, na Universidade de Pávia, na Itália. Contudo, ele ficou de fora das pesquisas das grandes universidades alemãs – um fato que o perseguiu durante toda sua carreira. Mesmo assim, Pávia foi o berço de cientistas espetaculares, como o físico Alessandro Volta, Christopher Columbus e um grupo de grandes biólogos. Nesse brilhante grupo, Golgi era um médico e cientista muito bem-formado.

Apesar de sua carreira ter começado de forma promissora, Golgi foi forçado, devido a necessidades financeiras, a aceitar um emprego fora de Pávia, na cidade de Abbiategrosso, onde trabalhou como médico residente na Casa dos Incuráveis. Nessas circunstâncias, era muito pouco provável que Golgi continuasse sua carreira científica. Mas ele perseverou e, trabalhando sob a luz do candelabro de sua cozinha, desenvolveu a mais famosa coloração de toda a história. Golgi descobriu o método da prata para corar neurônios – la reazione negra, a “reação negra”.

A coloração de Golgi ficou famosa, assim como ele próprio. Seu grande interesse pelas doenças o levou a várias descobertas em patologia, e ele então voltou a Pávia para ser professor. Porém seus escritos não eram muito conhecidos fora da Itália; então, traduziu-os e publicou-os no Italian Archives of Biology – que,

curiosamente, era editado em francês. A reputação de Golgi cresceu, e em 1906 ele recebeu o Prêmio Nobel juntamente com Cajal.

Neste meio tempo, Cajal era o impetuoso filho de outro médico. Somente a partir dos ensinamentos em casa, realizados pelo pai, que Cajal desenvolveu algum interesse pela biologia. Após uma infância complicada, Cajal emergiu como, conforme alguns chamam, o “pai da neurociência moderna”. Ele recebeu os créditos por ter sido o primeiro a articular, na sua totalidade, a doutrina neuronal.

A ironia nesta história, como já mencionamos, é que Cajal fez muitas de suas descobertas utilizando a coloração de Golgi. Ele viu pela primeira vez a coloração na casa de um amigo, em Madri, Don Luis Simarro, que havia aprendido a técnica enquanto participava de um encontro em Paris. Cajal disse que foi lá, no laboratório da casa de Simarro – não muito diferente do laboratório onde Golgi inventou a coloração – que ele viu pela primeira vez “as famosas fatias de encéfalo impregnadas com o método de prata do sábio de Pávia”.

A resposta de Cajal, ao ver a coloração, permanece fascinante (traduzida por Sherrington, em 1935):

Contra um fundo claro apareciam filamentos negros, alguns finos e lisos, outros grossos e espinhosos, em um padrão pontuado por pontos pequenos e denso, estrelados ou fusiformes. Tudo era definido como um esboço de tinta nanquim em papel transparente japonês. E pensar que este era o mesmo tecido que, corado com carmim ou campeche, aparecia como um bolo emaranhado em que o olhar tateava e tentava inutilmente exergar alguma coisa, terminando frustrado na tentativa de desvendar uma confusão e completamente perdido em sombria dúvida. Aqui, ao contrário, tudo estava claro e simples como um diagrama. Uma olhada era suficiente. Como um tolo, eu não podia tirar os olhos do microscópio.

Todavia, muitos anos depois, a cena na cerimônia do Prêmio Nobel, em Estocolmo, foi horrível. Golgi apareceu como um egocêntrico e, à sua maneira, negou-se a reconhecer as descobertas de Cajal, que naquele momento já tinha estabelecido a doutrina neuronal. Ambos estavam usando a mesma coloração, o mesmo microscópio e estudavam o mesmo tecido. Um enxergou a resposta, o outro não. Golgi continuava a ver seu amado sincício de neurônios como uma só unidade, enquanto

Cajal enxergava cada neurônio como uma unidade independente, como depois foi comprovado.

O SÉCULO XX

Há quem fique desapontado em saber que os resultados dos primeiros trabalhos de Cajal e de outros confundiram os cientistas na primeira metade do século XX. Todo o seu trabalho, especialmente quando visto retrospectivamente, argumentava sobre a importância dos neurônios isolados. Para saber como o sistema nervoso funciona, faz-se necessário compreender como um único neurônio interage e se comporta, assim como, para compreender as proteínas, necessita-se entender como os aminoácidos são organizados. A excentricidade dos processos sinciciais, das redes nervosas e dos processos **holísticos** não era necessária. O sistema nervoso não é uma grande bolha; ele é construído de unidades distintas. Se pudermos compreender como esse sistema funciona e descrever as leis e os princípios de suas interações, então, o problema de como o cérebro dá origem à mente pode ser tratado e, finalmente, resolvido.

Esta é a visão ideal, isto é, ao conhecer todos os elementos de um sistema, podemos compreender esse sistema. Porém o cérebro humano é composto de bilhões de neurônios, e pensar que precisamos saber a ação de todos eles para entender como o cérebro funciona seria irracional. Na realidade, foi um grande esforço compreender como o gânglio somatogástrico da lagosta, com oito neurônios, produzia atividade rítmica. Os avanços são feitos trabalhando-se em diferentes níveis de organização, eis a estratégia fundamental em neurociência cognitiva. Sabendo-se qual comportamento é realmente produzido, não precisamos conhecer todas as possibilidades de interações que ocorrem entre os elementos relacionados. Dessa maneira, um problema se torna restrito e passível de solução. Mas essa não era a questão dominante no início do século XX. Apesar de o renomado fisiologista inglês Sir Charles Sherrington acreditar enfaticamente que o neurônio se comportava como uma unidade e criar o termo sinapse para descrever a junção entre dois neurônios, os cientistas que trabalhavam em questões mais “amplas” do cérebro e do

comportamento mantiveram-se unidos à ideia do processo holístico. Levou tempo para que as novas ideias fossem amplamente aceitas, principalmente porque importantes figuras do início dos estudos cerebrais estavam bastante divididas em suas teorias. Além do mais, muitas das primeiras propostas eram na realidade bem razoáveis, levando-se em consideração o estado do conhecimento científico naquele dado momento.

Tomemos como exemplo a ideia de contemporâneos de Broca, como Pierre Marie. Enquanto Broca estava defendendo a importância da localização das funções, Marie demonstrava a variabilidade da localização cortical. Marie relatou que somente metade de seus pacientes apresentava dificuldades de fala quando as lesões eram localizadas no terceiro giro frontal do hemisfério cerebral esquerdo – a área de Broca. Ele também notou que muitos pacientes com lesões que não atingiam essa área tinham afasia do tipo de Broca. Marie estava tanto certo quanto errado. Existe uma grande variação no encéfalo humano, mas, por meio da observação da estrutura subjacente, ele poderia bem ter descoberto que uma região crucial do encéfalo simplesmente trocava de um lugar para outro durante o desenvolvimento. A noção de localização, portanto, não foi realmente modificada com o tipo de observação que Marie ofereceu.

Ainda hoje, algumas pessoas simplesmente se recusam a aceitar que, compreendendo a função de um único neurônio ou de áreas menores do encéfalo, podemos explicar como o encéfalo funciona. Essa visão é tão comum hoje como era no início do século XX. Todos os envolvidos no problema tinham o seu exemplo favorito das profundas contradições vistas nesta lógica. Durante a época de Broca, um professor de fisiologia alemão chamado Friedrich Goltz levava seu cachorro em encontros científicos (Figura 1.14). Goltz havia removido grande parte do córtex do animal, e, mesmo que alguns danos fossem percebidos, o comportamento do cachorro era perfeitamente funcional. Mostrou-se, posteriormente, que a lesão do cachorro era bem menor do que aquela relatada, mas o exemplo não é incomum. Em humanos com lesão cerebral, é comum nos surpreendermos com a ausência de sintomas em um paciente, dada a extensão da lesão vista em um exame de imagens do cérebro.

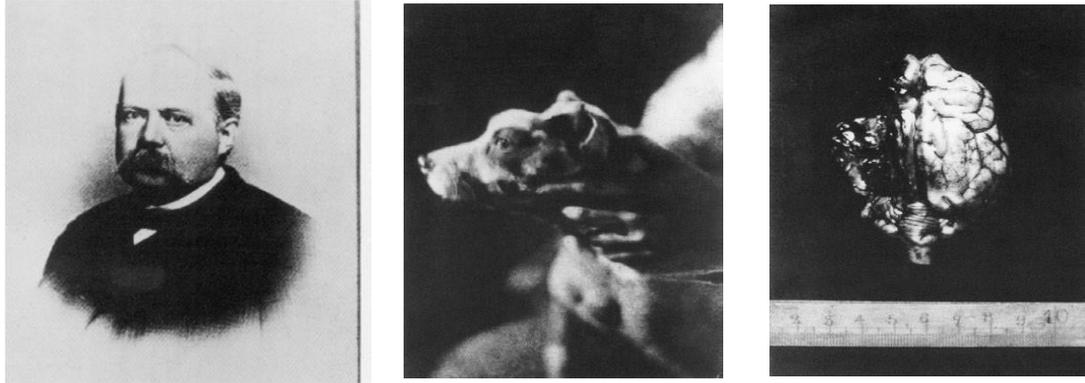


Figura 1.14 Esquerda: Friedrich Leopold Goltz (1834-1902). Centro: O cachorro que Goltz mostrou no Congresso Internacional de Medicina em 1881. Direita: O cérebro do cachorro do qual Goltz removeu uma porção do córtex.

Ainda assim, um grande avanço havia sido feito. No início do século XX, quase todos queriam provar que algum grau de localização funcional ocorria no córtex cerebral. Mesmo Goltz notou muitas diferenças nos seus animais quando o lobo occipital era removido, em comparação a quando o córtex motor era removido. Os críticos então diziam que era impossível localizar “funções corticais superiores”, como o pensamento e a memória, diferente da visão original, que postulava a ausência de qualquer localização de funções encefálicas. Essas ressalvas estavam de acordo com a primeira observação articulada por Hughlings Jackson, isto é, de que se deve distinguir entre a evidência para localização de sintomas e a ideia de localização de função. Com isso, Hughlings Jackson queria dizer que, enquanto uma lesão cerebral pode produzir um sintoma bizarro, não quer dizer que a área afetada seja especializada somente nessa função. A lesão pode muito bem afetar outras estruturas no encéfalo, porque pode danificar neurônios conectados a outras regiões. A distinção de Hughlings Jackson foi também uma das primeiras evidências de que comportamentos expressam uma constelação de atividades independentes, e não uma entidade única. Essa distinção é crucial quando analisamos dados de modernas imagens cerebrais, como veremos adiante.

Stanley Finger (1994), em sua histórica descrição dos eventos relacionados a este tema fundamental em *Origins of neuroscience*, apresenta citações dos

antilocacionistas. Na virada do século, um movimento de amplas bases foi absorvido pelos processos de Gestalt, a ideia de que o todo é diferente da soma das partes. Um dos membros desse movimento, o grande biólogo francês Claude Bernard, escreveu em 1855:

Apesar de ser possível dissecar todas as partes do corpo, isolá-las para serem estudadas em suas estruturas, formas e conexões, não é a mesma coisa em vida, quando todas as partes cooperam ao mesmo tempo em um único propósito. Um órgão não vive sozinho, pode-se dizer que este não existe anatomicamente, pois os limites estabelecidos são meramente arbitrários. O que vive, o que existe, é o todo e, se alguém estuda todas as partes de um mecanismo separadamente, não sabe como este funciona. Da mesma maneira, anatomicamente, temos o organismo separado, mas não sabemos como ele funciona como um todo. Este todo só pode ser visto quando os órgãos estão em funcionamento.

Esse tipo de pensamento motivou muito o trabalho posterior de dois neurologistas, Constantin von Monakow e Sir Henry Head (Figura 1.15). Monakow é o pai do conceito de **diásquise**, a ideia de que o dano de uma parte do encéfalo pode criar problemas para outras partes, um fato que tem sido bastante demonstrado. Head, que trabalhava em Londres, também via o encéfalo como um sistema dinâmico, interconectado e mutável. Quando havia algum dano, Head acreditava que o comportamento resultante da lesão se devia ao sistema como um todo estar em pane. Ele acreditava que um encéfalo lesionado era como um novo sistema, não um sistema antigo com uma parte faltando. Segundo Head:

No que diz respeito à perda de função ou manifestações negativas, estas respostas não revelam os elementos com os quais o comportamento original era composto... É uma nova condição, consequência de um novo reajuste do organismo como um todo aos fatores que funcionam em nível fisiológico particular perturbados pela lesão local.

Apesar da derrota nessa batalha intelectual, esses brilhantes cientistas formularam argumentos transcendentais. Os pontos levantados pelo grupo holístico e suas razões ainda hoje têm mérito. Com o aparecimento de Karl Lashley, o grande psicólogo experimental, a importância dos neurônios como unidade e função

localizada foi posta em dúvida. Seus estudos e escritos eram baseados em forte contexto acadêmico e apoiados em seus dados experimentais. O ponto assinalado por Lashley era de que as lesões ocorridas no encéfalo não pareciam criar problemas no aprendizado ou no desempenho de tarefas. O animal escolhido por Lashley era o rato, e ele utilizou exclusivamente a tarefa de aprendizado em labirinto. Desde então, aprendemos que as conclusões de Lashley têm algumas falhas. Por exemplo, a tarefa de aprendizado em labirinto requer muitas modalidades, que, por sua vez, requerem tanto do sistema nervoso, que nenhuma lesão isolada pode produzir um déficit de aprendizado. Se um animal aprendeu a tarefa de locomover-se em um labirinto usando informação visual e proprioceptiva, uma lesão no sistema visual ou no sistema proprioceptivo pode não ser suficiente para criar um déficit, pois uma das modalidades pode compensar a lesão. Seguindo essa lógica, caso uma lesão seja tão grande que inclua todas as modalidades, então o déficit deve ser observado. Na verdade, essa também foi a conclusão de Lashley.

De qualquer forma, a mensagem da escola holística ainda tem lições válidas. O pêndulo lentamente se voltou para a visão da localização assim que a pesquisa neurofisiológica começou a mostrar certas regularidades na organização do córtex cerebral. No início da década de 1930, Clinton Woolsey, Philip Bard e outros começaram a descobrir os “mapas” sensoriais e motores no encéfalo. Na realidade, tornou-se claro que cada modalidade tinha mais de um desses mapas. Nas décadas de 1970 e 1980, aprendemos que os múltiplos mapas existem em cada modalidade sensorial, chegando a um pico de complexidade no sistema visual dos primatas. Até hoje, mais de 30 mapas de informação visual foram encontrados no encéfalo de primatas. Ainda mais espetaculares são as descobertas de que áreas bem localizadas no encéfalo, como a área médio-temporal, são altamente especializadas no processamento da informação visual de movimento. Para resumir, a neurociência continua a revelar a surpreendente complexidade e a especialização do córtex cerebral.

Stephen Kosslyn, um dos fundadores da neurociência cognitiva, resumiu meticulosamente o conflito entre os localizacionistas e os holistas (Kosslyn e Andersen, 1992):

O erro dos primeiros localizacionistas é que eles tentaram mapear o comportamento e a percepção em localizações únicas no córtex. Qualquer comportamento ou percepção particular é produzido por muitas áreas, localizadas em várias partes do encéfalo. Assim, a chave para resolver este debate é compreender que funções complexas, como percepção, memória, raciocínio lógico e movimento, são o produto de vários processos subjacentes, realizados em distintas regiões do encéfalo. Na realidade, as habilidades propriamente ditas podem ser alcançadas de diferentes maneiras, o que envolve diferentes combinações de processos... Qualquer habilidade complexa, então, não é alcançada por uma única parte do encéfalo. Neste ponto, os holistas estavam corretos. Os tipos de funções classificadas pelos frenologistas não se localizam em uma única região cerebral. Entretanto, processos simples que são recrutados a exercer tais habilidades são localizados. Neste aspecto, os localizacionistas estavam corretos.



Figura 1.15 Esquerda: Sir Henry Head e W.H.R.Rivers no St. John College, em Cambridge, 1903. Head seccionou um ramo do seu próprio nervo radial e fez Rivers realizar experimentos de perda sensorial.

Enquanto a profissão médica foi pioneira nos estudos sobre como o encéfalo funciona, os psicólogos começaram a defender que tinham condições de mensurar o comportamento e sem dúvida estudar a mente. Até o começo da psicologia experimental, a mente era terreno dos filósofos, que questionavam a natureza do conhecimento, sobre como conhecemos o que nos cerca. Os filósofos tinham duas

posições principais: **empirismo** e **racionalismo**. O racionalismo se desenvolveu no Século das Luzes (Iluminismo). Tomou o lugar da religião e, entre os intelectuais e cientistas, tornou-se a única maneira de pensar sobre o mundo. Por meio do pensamento correto, os racionalistas podiam determinar suas verdadeiras opiniões. Eles rejeitavam opiniões que, mesmo que fossem reconfortantes, eram inexplicáveis e totalmente supersticiosas.

Embora o racionalismo frequentemente seja equiparado ao pensamento lógico, ele é diferente. O racionalismo leva em conta alguns temas, como o sentido da vida, enquanto que a lógica não. A lógica simplesmente se baseia no raciocínio indutivo, na estatística e nas probabilidades. Ela não trata de inquietações a respeito de estados mentais, como felicidade, interesses pessoais e bem-estar geral. Cada pessoa pesa essas questões de maneira diferente e, como consequência, uma decisão racional é mais problemática do que uma simples decisão lógica. Claramente, o racionalismo é uma atividade mental complexa.

O empirismo, por outro lado, é a ideia de que todo conhecimento advém de uma experiência sensorial. A experiência sensorial direta produz ideias e conceitos simples. Quando ideias simples interagem e se associam umas com as outras, ideias e conceitos complexos são criados em um sistema de conhecimento do indivíduo. Os filósofos britânicos – de Thomas Hobbes no século XVII, John Locke e David Hume, até John Stuart Mill no século XIX – enfatizaram o papel da experiência. Não é surpresa, então, que a principal escola de psicologia experimental tenha nascido dessa visão associacionista.

Um dos primeiros cientistas a defender o **associacionismo** foi Hermann Ebbinghaus. No final do século XIX, ele afirmou que processos complexos, como a memória, podiam ser medidos e analisados, saindo à frente dos notáveis psicofísicos Gustav Fechner e E.H. Weber. Estes trabalhavam arduamente, relacionando as propriedades físicas de fenômenos, como a luz e o som, às experiências psicológicas que produziam no observador. Essas medidas eram rigorosas e reproduzíveis. Ebbinghaus foi um dos primeiros a compreender que era possível medir processos mentais internos, como a memória.

Ainda mais influente foi a monografia clássica de Edward Thorndike, *Animal Intelligence: An Experimental Study of the Associative Process in Animals* (Figura 1.16). Nesse volume, publicado em 1911, Thorndike articulou sua lei do efeito, que foi a primeira demonstração sobre a natureza das associações. De vários pontos de vista, sua teoria era muito simples. Thorndike apenas observou que a resposta a uma recompensa estaria gravada no organismo como uma resposta habitual. Se não existisse recompensa após a resposta, esta desapareceria. Assim, as recompensas eram responsáveis por disponibilizar um mecanismo que estabelecesse uma resposta mais adaptativa. Essa ideia se assemelha um pouco com a teoria da seleção natural de Darwin – na realidade, Thorndike foi profundamente influenciado por Darwin.



Figura 1.16 Edward L. Thorndike.

Ainda assim, o pai do pensamento associativo em psicologia misturou sua terminologia. Associacionismo dificilmente combina com nativismo (isto é, a ideia de que muitas formas de conhecimento já estão presentes no organismo desde o nascimento). O associacionismo é comprometido com a ideia amplamente popularizada pelo psicólogo americano John B. Watson, que promoveu a noção de que ele podia pegar qualquer bebê e transformá-lo em qualquer coisa (Figura 1.17). Aprender era a chave da questão, ele proclamava, e todos tinham os mesmos equipamentos nos quais o aprendizado podia ser construído. A psicologia americana foi tomada por essa ideia. Consumidos por isso, todos os grandes setores da psicologia dos Estados Unidos eram liderados por pessoas que tinham essa visão.

Todo esse tumulto na psicologia behaviorista continuou, apesar da bem-estabelecida posição – primeiramente articulada por Descartes, Leibniz, Kant e outros – de que a complexidade estava embutida no organismo. Informações sensoriais são meramente dados nos quais estruturas mentais preexistentes agem. Essa ideia, que domina a psicologia atualmente, foi alegremente afirmada nessa idade de ouro. Com os associacionistas tomando a frente, foram realizados milhares de experimentos e, pelo volume de atividade, roubaram essa questão para eles.

A couraça dos behavioristas começou a quebrar, entretanto, quando os psicólogos da Gestalt, trabalhando com o fenômeno perceptual, demonstraram que a percepção era melhor compreendida em relação às propriedades emergentes de um estímulo. O movimento aparente, por exemplo, era uma propriedade emergente dos estímulos do mundo real. Existia somente como uma função das propriedades preexistentes no encéfalo. Não era aprendido. Os psicólogos gestaltistas desenvolveram centenas de demonstrações mostrando pontos similares.



Figura 1.17 Esquerda: John B. Watson. Direita: John B. Watson e o “Pequeno Albert”, durante um de seus experimentos de condicionamento de medo.

O verdadeiro fim da dominância do **behaviorismo** e da psicologia do estímulo-resposta não veio antes do final dos anos de 1950. Quase de um dia para o outro, os psicólogos começaram a pensar em termos de cognição, e não somente em comportamento. George Miller, que era um behaviorista assumido, ofereceu o que ele chamou de “memórias muito pessoais” daquele evento (Figura 1.18). Miller provocou uma revolução nos anos de 1950. Em 1951, ele escreveu um livro muito influente chamado *Language and Communication* e observou: “O viés é behaviorista...”. Onze anos depois, ele escreveu outro livro, chamado *Psychology, the Science of Mental*

Life, título que reflete uma completa rejeição à ideia de que a psicologia deveria estudar somente o comportamento. Conforme as palavras de Miller: “Meu despertar cognitivo deve ter ocorrido nos anos de 1950”.

Após uma rápida avaliação, Miller colocou a exata data de seu despertar em 11 de setembro de 1956, durante o Segundo Simpósio sobre Teoria da Informação, que ocorreu no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). Aquele foi um ano muito rico para várias disciplinas. Nas ciências da computação, Allen Newell e Herbert Simon lançaram com sucesso Information Processing Language I, um poderoso programa que simulava a prova dos teoremas lógicos. O guru da computação John von Neumann escreveu as Palestras Silliman em organização neural. Um famoso encontro sobre inteligência artificial aconteceu na Faculdade Dartmouth, com Marvin Minsky, Claude Shannon (conhecido como o pai da teoria da informação) e muitos outros.

Grandes iniciativas também estavam acontecendo na psicologia. Como resultado da II Guerra Mundial, novas técnicas psicológicas estavam sendo aplicadas. James Tanner e John Swets utilizaram a detecção de sinais, teoria servo e a tecnologia computacional para estudar percepção. (Essas técnicas foram desenvolvidas, em grande parte, para ajudar o departamento de defesa americano a detectar submarinos.) Miller também escreveu seu clássico artigo “The Magical Number Seven, Plus-or-Minus two”, no qual mostrou que existe um limite no volume de informação que pode ser captada em um breve período de tempo. Igualmente, o psicólogo do desenvolvimento Jerome Bruner estava trabalhando no problema do pensamento. Ao mesmo tempo em que via uma utilidade limitada das ideias associacionistas no aprendizado infantil, ele acreditava em mecanismos superiores envolvidos no pensamento, construídos por meio de representações e mapas mentais. Talvez a mais importante revelação, entretanto, tenha sido o trabalho de Noam Chomsky (Figura 1.19). Uma versão preliminar de suas ideias em teorias sintáticas foi publicada sob o título Three Models of Language. O esforço de Chomsky transformou o estTTTudo da linguagem rapidamente. A mensagem fundamental era a de que o aprendizado teórico – ou seja, o associacionismo, extremamente defendido por B. F. Skinner – não podia explicar como a linguagem era aprendida. A

complexidade da linguagem era própria do cérebro e seguia regras e princípios que transcendiam todos os povos e todos os idiomas. Era universal.

Herbert Simon e Allen Newell também divulgaram seus esforços para simular um processo cognitivo, apresentado no contexto do trabalho linguístico. Uma forma simples de associacionismo estava em voga novamente. Curiosamente, no mesmo dia, ocorreu uma tentativa inicial de se testar a teoria neuropsicológica de Donald Hebb sobre redes celulares, que sugeria que qualquer grupo de neurônios pode aprender qualquer coisa. Recentemente, as ideias de Hebb avançaram bastante graças à neurociência da computação. Ao mesmo tempo que esse campo de especialização se volta gradualmente em direção à importância da estrutura neural interna e universal que governa a vida cognitiva e perceptual, prosseguem os esforços para demonstrar que leis de associação simples são responsáveis por nosso aprendizado sobre o mundo.

NEUROCIÊNCIA COGNITIVA

O termo neurociência cognitiva foi criado dentro daquele táxi da cidade de Nova York, no final dos anos de 1970, porque naquele momento uma nova missão se fazia realmente necessária. Os neurocientistas estavam descobrindo como o córtex cerebral era organizado e como ele funcionava em resposta a estímulos simples. Eles eram capazes de descrever mecanismos específicos como aqueles relacionados à percepção visual. Por exemplo, David Hubel e Torsten Wiesel, em Harvard, estavam mostrando como um único neurônio no córtex visual respondia de maneira confiável a formas particulares de estímulo visual. A área de estudo da mente avançou muito além dos simples métodos de lesão para acessar quais distúrbios perceptivos ou cognitivos poderiam ocorrer após uma lesão cerebral. Os neurocientistas estavam começando a construir modelos de como células unitárias interagem para produzir percepções. A maioria dos psicólogos não mais levava o behaviorismo a sério, como uma maneira de explicar a cognição complexa. Pessoas como George Miller abandonaram a abordagem inicial, que era totalmente behaviorista; ao invés disso, tentavam articular como a linguagem era representada. Não sendo mais considerada como simples produto de aprendizado e associacionismo, a linguagem veio a ser

aceita como uma construção complexa realizada pelo encéfalo. Desde o avanço de Chomsky, ficou claro que a gramática é um instinto, enquanto o léxico é aprendido.

O extraordinariamente talentoso David Marr, do MIT, fez um grande esforço para ligar os mecanismos cerebrais e a percepção. Marr, que morreu tragicamente muito jovem, deu uma visão do que seria a neurociência cognitiva. Como Kosslyn e Andersen (1992) colocaram, “naquele momento, o trabalho de Marr era unicamente interdisciplinar e particularmente importante porque propiciou os primeiros exemplos rigorosos de teorias da neurociência cognitiva”.

Marr reforçou a ideia de que a computação neural pode ser compreendida pela análise em múltiplos níveis. Filósofos das ciências têm observado, há muito tempo, que um único fenômeno pode ser examinado em múltiplos níveis de análise. Ao considerar a psicologia, filósofos como Jerry Fodor distinguiram níveis funcionais e físicos; o nível funcional atribuía papéis e propósitos aos eventos, enquanto o nível físico caracterizava os componentes elétricos e químicos próprios desses eventos.

Marr levou esses passos iniciais muito adiante. Ele atribuiu uma hierarquia aos níveis, baseado na ideia de que o encéfalo computa. Assim, dividiu o nível funcional em dois níveis, um que caracteriza o que é computado e outro que caracteriza como a computação é realizada (isto é, algoritmos), e mostrou como esses níveis relacionavam-se ao nível mais baixo, o de implementação.

Apesar de moderna e arrojada, a abordagem de Marr não era muito precisa. Sua ideia foi adotada pelos teóricos cognitivos porque ele sugeriu que poderíamos entender o nível cognitivo simplesmente com a racionalidade. Teorias que pretendiam explicar aptidões mentais como a linguagem, a memória ou a atenção requeriam análises mais profundas, incluindo algoritmos, para descrever como os processos neuropsicológicos produzem o estado cognitivo.

Mas as ideias de Marr não funcionaram completamente. A distinção entre níveis – isto é, entre os algoritmos e os mecanismos de implementação dos neurônios – era muito vaga. Não existe somente um tipo de neurônio no encéfalo; há muitos tipos, cada um com propriedades diferentes, acionado por diferentes neurotransmissores, e assim por diante. Qualquer teoria computacional, por consequência, deve ser sensível

à real biologia do sistema nervoso e limitada pela maneira como o encéfalo realmente funciona – e ele funciona de maneira diferente para diferentes funções.

Não que amplas generalizações das funções do sistema nervoso não existam. Elas existem e permitem que os cientistas procurem por mecanismos específicos, o que levou ao crescimento rápido do campo de pesquisas de rede neural. Aqui, os cientistas constroem modelos de como o encéfalo pode funcionar e tentam limitar como as redes funcionam, incluindo informações da neurofisiologia e da neuroanatomia.

O SÚBITO NASCIMENTO DO IMAGEAMENTO CEREBRAL

É difícil entender a evolução meteórica das imagens cerebrais. Quando da 1ª edição deste livro, o imageamento cerebral tinha algum apoio na neurociência cognitiva, mas a maior parte do trabalho provinha de poucos laboratórios ao redor do mundo. Na época da presente edição, a neuroimagem expandiu-se para dezenas de centros. Na realidade, hoje, todo o tradicional departamento acadêmico de psicologia possui um aparelho de ressonância magnética no seu subsolo, ou planeja ter um. Como tudo isso aconteceu? Como o estudo do fluxo sanguíneo cerebral por meio de imagens nos ajuda a entender processos como a atenção ou a leitura?

Muitas coisas boas tiveram início na Itália, e isso inclui a pesquisa do fisiologista Angelo Mosso, que trabalhou em uma enfermaria de neurocirurgia e estudou pacientes com defeitos no crânio. Ele notou que a pulsação do córtex humano aumentava regionalmente durante a atividade mental. Com esse trabalho, Mosso havia estabelecido a correlação entre o fluxo sanguíneo cerebral e a atividade neural.

Mas foi somente após a II Guerra Mundial que a relação entre fluxo cerebral e função neural começou a ser quantificada. Seymour Kety, Lou Sokoloff, e muitos outros, a serviço do Instituto Nacional de Saúde, começaram a medir o fluxo cerebral no encéfalo de animais. Esse trabalho abriu caminho para o surgimento dos primeiros aparelhos de imagem cerebral. Primeiro, os pesquisadores escandinavos David Ingvar e Neils Lassen desenvolveram um capacete com contadores de cintilação que envolvia toda a cabeça e permitia a medida regional bruta de mudanças no fluxo cerebral durante a atividade mental. Essa técnica logo deu lugar a uma tecnologia

muito mais poderosa e espacialmente mais acurada chamada tomografia por emissão de pósitrons (TEP).

Com a TEP, uma técnica desenvolvida na Universidade de Washington, em Saint Louis, tanto o fluxo cerebral como o metabolismo podiam ser quantificados. Usando procedimentos desenvolvidos por Kety e Sokoloff, os pesquisadores podiam agora, de forma similar, retratar o encéfalo humano. Rapidamente, entretanto, a medida do metabolismo perdeu espaço para a medida do fluxo cerebral. Com o desenvolvimento de radiofármacos (p. ex., $H_2^{15}O$) com meia-vida curta (123 segundos), o fluxo cerebral podia ser medido rapidamente (<1 minuto), e cada indivíduo podia ser estudado várias vezes, permitindo, assim, medidas cognitivas complexas.

Na década de 1980, começou a existir um grande interesse em como a TEP poderia ajudar a esclarecer a cognição humana. Psicólogos cognitivos rapidamente se envolveram nesses estudos. Michael I. Posner e Steve Petersen uniram esforços na Universidade de Washington e colaboraram com Marcus Raichle. Seu trabalho pioneiro lançou um campo inteiro de pesquisa. Nos 10 anos seguintes, pesquisadores realizaram estudos e mais estudos usando basicamente o chamado método da subtração. Derivado originalmente do trabalho realizado pelo fisiologista holandês Franciscus Donders em 1868, esse método envolve a subtração de um mapeamento cerebral adquirido durante um estado de comportamento particular de outro mapeamento feito durante um diferente estado de comportamento. Assim, um mapeamento obtido enquanto alguém olhava uma tela branca podia ser subtraído de um mapeamento feito quando a mesma pessoa olhava a mesma tela com uma palavra escrita. O mapeamento subtraído isolava um processo especificamente associado com a leitura.

Enquanto esses estudos revolucionários estavam sendo conduzidos, outro avanço em imagem cerebral foi desenvolvido. Ele se baseava em outro princípio físico, o comportamento dos átomos de hidrogênio ou prótons em um campo magnético. Paul Lauterbur, então na Universidade de Illinois, percebeu como trabalhos anteriores da física podiam ser utilizados para se fazer imagens biológicas, e sua criatividade levou ao desenvolvimento da imagem por ressonância magnética (IRM). Inicialmente,

as imagens eram relacionadas com a anatomia do encéfalo; estas eram chamadas imagens estruturais. Contudo, Seiji Ogawa e colaboradores rapidamente entenderam que o estado funcional do encéfalo também podia ser representado. Baseado em fatos químicos prévios, descobertos por Linus Pauling e colaboradores – segundo os quais o montante de oxigênio carregado pela hemoglobina muda o grau pelo qual a hemoglobina perturba o campo magnético—, a ideia de trilhar o fluxo cerebral usando IRM tornou-se uma realidade. O sinal tornou-se conhecido como o “sinal dependente do nível sanguíneo de oxigênio”, ou blood oxygen level dependent (BOLD), e é a base para a maioria dos estudos em imagem cerebral.

Funções Cognitivas: Bases Neuroanatômicas e Circuitarias

O cérebro humano sempre despertou interesse nas mais diversas áreas científicas. Entretanto, foi apenas em 1891, a partir dos trabalhos de Ramón y Cajal (1889), que tomamos conhecimento da unidade básica do cérebro: o neurônio (Rapport, 2005). Desde então, podemos observar um crescente acúmulo de conhecimento acerca da composição e funcionamento do cérebro, principalmente em questões relacionadas à localização das funções mentais surgiam através do debate entre os localizacionistas e os holistas (Cosenza et al 2008).

Segundo o localizacionismo, o cérebro atua de forma fragmentada, onde cada uma das regiões seria responsável por uma função mental e comportamental específica. Esta visão deriva da frenologia elaborada por Franz Joseph Gall no início do século XIX. Gall acreditava que ao analisar a superfície do crânio, seria possível saber se uma faculdade mental era bem desenvolvida ou não. Os trabalhos de Paul Broca (em relação o centro do controle da fala) e Karl Wernicke (em relação à área de compreensão da fala) ofereceram evidências sólidas sobre essa questão.

Entre os grandes opositores do localizacionismo, destaca-se o neurologista Hughlings Jackson. Para ele, os processos mentais deveriam ser associados ao cérebro não por sua localização em áreas específicas, mas sim através de uma compreensão hierárquica do sistema nervoso. A visão localizacionista foi superada por um novo conceito de função: o holismo. Para os holistas, não haveria uma especificidade regional no cérebro, o qual controlaria o comportamento atuando como

um todo, mas todas as regiões colaborariam num determinado momento na execução de uma tarefa.

Estudos como os de Ivan Pavlov, Lev Vygotsky e Aleksandr Luria auxiliaram no fortalecimento de uma visão que integrava os princípios localizacionistas e holistas. Por exemplo, Luria (1966) postula o conceito de “sistemas funcionais”. Em sua teoria, as funções mais elementares poderiam até ser localizadas, mas os processos mentais geralmente envolviam sistemas que atuavam em conjunto, situando-se em áreas distintas do cérebro.

Diferente de Luria, Norman e Shallice (1980) propõe a idéia de que mesmo os sistemas centrais tais como o Sistema Atencional Supervisor (SAS), possuem graus de modularidade diferenciados, uma modularidade em cascata. Assim, influenciado pela perspectiva de modularidade contemporânea de Marr (1982), Shallice introduz questões de importância teórico-clínicas na Neuropsicologia. Essa íntima ligação entre a Neuropsicologia Cognitiva e Psicologia Cognitiva, que surge por volta das décadas de 60 e 70, irá cada vez mais, contribuir para o estudo da cognição humana.

Do mesmo modo, o diálogo entre a Psicologia do Desenvolvimento e a Neuropsicologia Cognitiva do Desenvolvimento vem se estreitando. De acordo com Cagnin (2009), os achados da Neuropsicologia infantil têm muito colaborado para a reestruturação de questões no âmbito da Psicologia do Desenvolvimento Cognitivo. Um exemplo desse tipo de contribuição são as novas versões dadas à perspectivas mais tradicionais como as de Piaget, que preconizam um desenvolvimento cognitivo de domínio geral.

Após 100 anos dos trabalhos de Ramón y Cajal, pudemos pela primeira vez observar, de forma não intrusiva, um cérebro humano vivo e consciente em pleno funcionamento através do advento das técnicas de neuroimagem. Atualmente, contamos não só com a Ressonância Magnética funcional (fMRI), mas também com tomografia computadorizada por emissão de pósitrons (PET Scan) ou por fóton único (SPECT), magnetoencefalografia (MEG) e traçadores de atividade neuronal baseados em expressão gênica (c-Fos). Através dos inúmeros métodos de investigação, novas evidências têm ampliado nosso conhecimento acerca das correlações anatomo-funcionais, bem como de localizações mais precisas das atividades mentais.

Desta forma, tanto a revolução cognitiva quanto a revolução tecnológica vem reformulando questões sobre a relação mente-cérebro. Ao mesmo tempo, aponta os próprios limites de se pensar isoladamente na localização das funções cognitivas, mas sim, a importância de se conhecer as conexões existentes entre elas como um todo (Capovilla, 2007).

O desenvolvimento de diversos estudos que investigam a localização das funções cerebrais no campo da neurociência tem contribuído em uma melhor compreensão dos substratos neurais do comportamento humano e seu funcionamento cerebral. Assim, é possível nesta seção apontar as principais áreas e estruturas relacionadas aos processos cognitivos citados abaixo.

Sensação e Percepção

A sensação e a percepção constituem a base para a formação de todo nosso conhecimento acerca do mundo externo e interno, através dos órgãos dos sentidos e as células. De acordo com Engelhardt, Laks e Rozenthal (1995), a sequência de eventos resultantes na percepção de estímulos se inicia em células especializadas. Desde os receptores periféricos e as vias aferentes, até o córtex, passando pela medula, tronco cerebral e tálamo, o processamento se por diferentes níveis. Cada sistema sensorial apresenta uma modulação própria para o reconhecimento consciente do estímulo aplicado. Posteriormente, os receptores sensoriais se encarregam de traduzir os estímulos, que são codificados e levados por vias complexas para os centros superiores, onde por fim, essas informações são processadas.

Os sistemas sensoriais apresentam uma organização mista, hierárquica e em paralelo de acordo com a etapa de processamento. Um bom exemplo dessa organização é o sistema visual. Os olhos e suas estruturas desempenham um papel fundamental nesse processo. Eles captam as imagens, transformando-as em impulsos elétricos, que serão enviados através do nervo óptico, ao cérebro. Os processos visuais são centralizados no lobo occipital, em especial no córtex visual primário e no córtex visual de associação. Os inúmeros aspectos de um estímulo

visual estão vinculados à atividade da área visual primária (Grill-Spector e Malach, 2004).

Grande parte das informações para as áreas especializadas provém da V1, que juntamente com a V2 que distribuem os diferentes sinais para as áreas apropriadas. Assim, o córtex temporal medial (MT ou V5) está relacionada com o movimento e a profundidade, a área V4 à percepção de cor e forma, que alcança o córtex temporal inferior (IT). Desta forma, a percepção de forma e cor utiliza uma via ventral (“o que”), relacionada com a identificação de um objeto. Enquanto a percepção de movimento e de profundidade depende de uma via dorsal (“onde”), envolvida na localização espacial dos objetos (Milner e Goodale, 1995; Ungerleider e Mishkin, 1982).

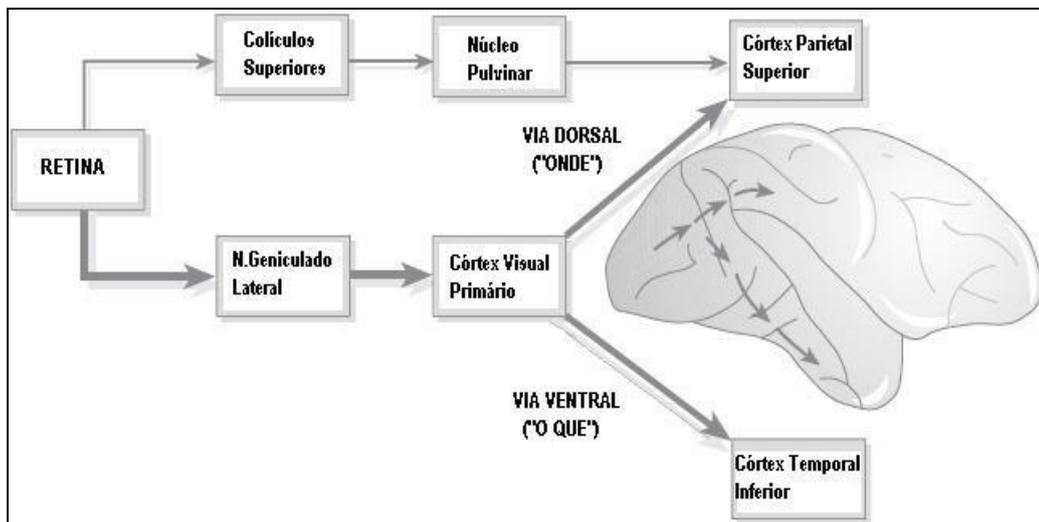


Figura 3 – Esquema das vias dorsal e ventral (adaptado de Milner e Goodale, 1995).

O processamento auditivo é centralizado no lobo temporal, principalmente no córtex auditivo primário. As informações da cóclea apresentam conexões complexas ao nível do tronco cerebral (Phillips, 1995). Os estímulos auditivos são processados por vias paralelas ascendentes, diretas e cruzadas, a partir dos núcleos cocleares. Neles, as vias binaural e monaural formam o lemnisco lateral, que terminam no colículo superior, projetado para o corpo geniculado medial.

As informações acústicas ascendem ao córtex auditivo através de vias paralelas e terminam em regiões específicas para o processamento do tempo,

intensidade e frequência do som. Dessa forma, as diferentes regiões funcionais do córtex decompõem a informação auditiva em componentes menores para gerar a percepção da localização, altura e volume. Finalmente, são direcionadas para as áreas de associação onde os sons são apreciados de acordo com seu tipo (Celesia, 1976).

A gustação tem seu processamento a partir da estimulação de células receptoras que estão agrupadas nas papilas gustativas. Kinnamon e Cummings (1992) ressaltam os diferentes métodos para converter a informação da estrutura química dos estímulos gustativos em sinais elétricos. Estímulos salgados e azedos, por exemplo, agem diretamente sobre os canais iônicos específicos localizados nas membranas das células receptoras. No entanto, os estímulos doce, amargo e umami apresentam conversão mediada por receptores acoplados a G-Proteínas.

Em todos os casos, os sinais elétricos produzidos são enviados ao sistema nervoso central através dos nervos cranianos. Os sinais elétricos são enviados até a medula, onde fibras aferentes as projetam diretamente para o núcleo ventral pósteromedial do tálamo. Além disso, foram observadas projeções adicionais para o córtex somatosensorial primário, possível região que integra os aspectos químo e somatosensórios dos estímulos gustativos (Araújo, 2003).

Em comparação aos outros mamíferos, o olfato do ser humano é pouco desenvolvido. Combinado com a gustação, o olfato nos ajuda a identificar os alimentos e alertar sobre alguma substância nociva. Os receptores olfativos projetam seus axônios para o interior dos bulbos olfatórios, onde convergem para formar estruturas sinápticas chamadas glomérulos. Estas se conectam em grupos que convergem para as células mitrais. Posteriormente, os axônios de saída dos bulbos, estendem-se pelos tractos olfativos, projetando diretamente para regiões primitivas do córtex. Então, a informação vai para o tálamo e depois, para o néocórtex (Bear, Connors e Paradiso, 2002). As percepções conscientes do cheiro podem ser mediadas por uma via que vai do tubérculo olfatório ao núcleo medial dorsal do tálamo, e por fim, para o córtex orbitofrontal.

Atenção

Devido sua complexidade, a atenção é um produto do funcionamento integrado de inúmeras estruturas corticais e sub-corticais, além de sistemas de redes neurais, que constituem a neuroanatomia da atenção. O estado de alerta dá início à recepção de estímulos provenientes dos órgãos sensoriais. No tronco encefálico, mais especificamente na formação reticular, ocorre então a regulação da tenacidade (Brandão, 1995). Porém, são as projeções do sistema ativador reticular ascendente (SARA) que possibilitam a ativação cortical, a manutenção do alerta e vigília e a escolha das respostas comportamentais. A ativação inicial do córtex parietal na recepção de informações sensoriais, os núcleos da base e do colículo superior com as informações motoras, além das informações límbicas advindas do giro do cíngulo e da amígdala são reguladas através de aferências da formação reticular (Lima, 2005).

As habilidades de seleção de estímulos relevantes e inibição de estímulos distratores são fatores essenciais para a cognição e processo de aprendizagem. Para Mesulam (1999), três estruturas estão relacionadas à atenção seletiva: o córtex parietal superior, relacionado com a representação espacial exterior; o córtex pré-motor lateral, responsável pela orientação e movimentos de exploração; e o giro do cíngulo anterior, associado com a monitoração da resposta.

Além dessas áreas, autores como Muskat (2008) e Lima (2005) também relacionaram o córtex pré-frontal no controle voluntário da atenção, o córtex fronto-parietal e os núcleos da base no acoplamento de novos estímulos e o núcleo pulvinar no filtro de informações relevantes das irrelevantes, localização do alvo visual, engajamento. De maneira inversa, a inibição de estímulos irrelevantes está ligada aos componentes do sistema límbico com o foco dado pelos processos emocionais e motivacionais, o córtex parietal pela inibição do foco do estímulo e as áreas frontais com a alocação dos processos inibitórios (Muskat; 2008).

Nos processos atencionais, diversas regiões cerebrais são acionadas, trabalhando de maneira integrada, mas para que todos componentes funcionem em harmonia é necessário um gerenciador de atividades. O controle e organização executiva da atenção têm papel fundamental não só na manutenção da disposição para agir e controle inibitório como também no planejamento e execução direcionados à metas e auto-regulação da ação. Essa função possui grande relação com as áreas

anteriores do cérebro, sobretudo nas áreas préfrontais e órbito-frontais (Estévez-González, García-Sánchez e Junque, 1997).

Por fim, outras duas funções importantes na atenção é a atenção sustentada, que estaria envolvida com o tálamo e o córtex frontal anterior, e a atenção dividida, que seria ativada pelo córtex parietal anterior, córtex pré-frontal e pelo tálamo (Engelhardt et al 1996).

Memória

Consideráveis avanços têm ocorrido, nas últimas décadas, em relação à compreensão sobre o funcionamento da memória. Resultados apontam cada vez mais que a memória não se localiza apenas em uma região, tendo suas funções compartilhadas por múltiplas estruturas de acordo com sua especificidade (Fuster, 1995; Oliveira e Bueno, 1993, Weiskrantz, 1987).

Acredita-se que a região temporal medial, mais especificamente, o hipocampo seja uma das estruturas mais importantes na codificação e formação de novas memórias. Mais do que isso, Moscovitch (2003) acredita que sua função seja de integração e consolidação de informações sensoriais separadas, além da transferência de informações recém-sintetizadas para estruturas de longo prazo (Squire e Zola-Morgan, 1991; Zola-Morgan e Squire, 1990). Enquanto o hipocampo parece ser responsável pela formação da memória declarativa, a amígdala estaria relacionada à memória emocional, dando uma tonalidade afetiva ao material aprendido (Ledoux, 2001; Cahill et al., 1995). Da mesma forma, outras estruturas parecem ter relação com as memórias não-declarativas, demonstrado na figura 4.

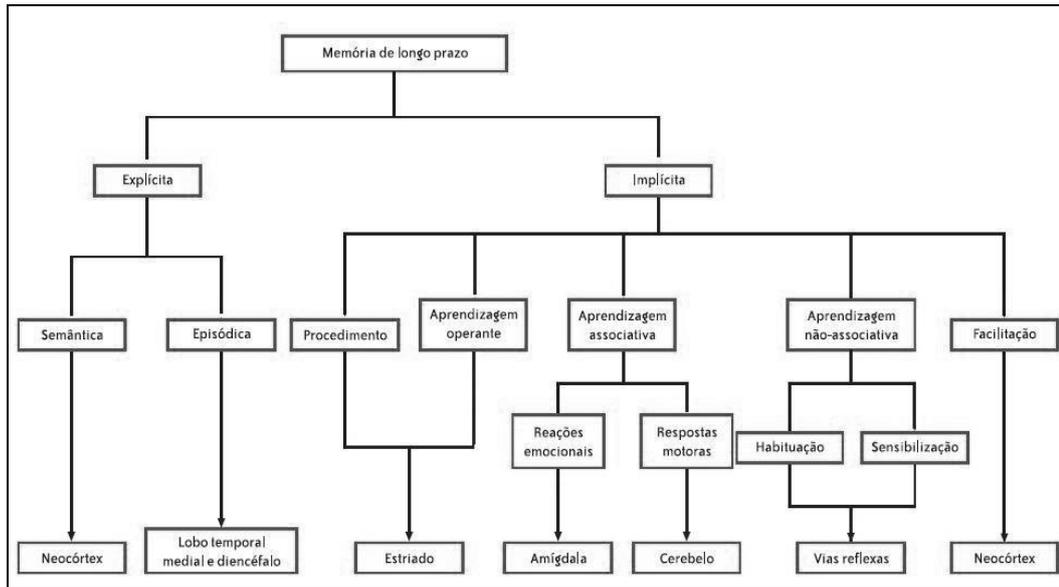


Figura 4 - Memória de longo prazo e suas estruturas associadas. Adaptado de Callegaro e Landeira-Fernandez (2007).

A partir de estudo realizado por Mishkin e Petri (1984), foi observado um envolvimento dos núcleos da base, em especial o núcleo caudado, na memória de procedimentos. O cerebelo apresenta papel relevante no aprendizado condicionado de respostas motoras (Bugalho, Correa e Viana-Baptista, 2006; Thompson, 1987), enquanto a amígdala relaciona-se às respostas emocionais. Por outro lado, os aprendizados não-associativos, estão envolvidos com as vias reflexas sensoriais. Estudos com neuroimagem apontam ativação da área neocortical no que diz respeito ao efeito de pré-ativação ou priming (Squire e Knowlton, 1995; Tulving e Schacter, 1990).

Assim como os diversos tipos de memória citadas anteriormente, as estruturas cerebrais envolvidas em cada componente da memória operacional abarcam amplas regiões do sistema nervoso que pode ser observado na tabela 1. Contudo, o córtex pré-frontal desempenha um papel crucial no processamento desse tipo de memória (Izquierdo, 2002).

Tipo de Memória	Áreas Corticais	Hemisfério	Área de Broadman
Alça Fonológica Armazenamento Reverberação	Parietal Posterior Área de Broca, Córtex Pré-Motor e Motor Suplementar	Esquerdo	40 44, 6 6
Esboço Visuo-Espacial Armazenamento Reverberação	Pré-Frontal Inferior Occipital Anterior, Parietal Posterior e Córtex Pré-Motor	Direito	47 19, 40 6
Executivo Central Processos Executivos	Córtex Frontal Dorsolateral e o Córtex Pré-Frontal	Esquerdo / Bilateral	9, 10, 44, 45, 46

Tabela 1 – Áreas corticais relacionadas aos diferentes componentes da memória de trabalho. Adaptado de Gathercole (1999).

A alça fonológica tem seus sub-componentes localizados no hemisfério esquerdo, onde o armazenador estaria associado ao córtex parietal posterior, enquanto o mecanismo de reverberação se sobrepõe à Área de Broca e ao córtex pré-motor (Smith e Jonides, 1998). Ao mesmo tempo, o esboço visuo-espacial é composto pelo armazenador visual, localizado no córtex pré-frontal inferior e pelo mecanismo espacial, ocupando o córtex occipital anterior, córtex parietal posterior e o córtex pré-motor, ambos no hemisfério direito (O'Reilly, Braver e Cohen, 1999). Por fim, o executivo central tem representações bilaterais no córtex cerebral, e está relacionado principalmente ao córtex frontal dorso-lateral e ao córtex pré-frontal (Collete e Linden, 2002; Gathercole, 1999).

Linguagem

Durante muitas décadas, grande ênfase foi dada aos estudos sobre linguagem. Contribuições como as de Paul Broca e Karl Wernicke continuam sendo lembradas até hoje. O avanço da tecnologia e a utilização de técnicas avançadas de neuroimagem permitiram uma importante evolução a respeito do conhecimento de circuitos neurais relacionados à linguagem (Vieira, Fay e NeivaSilva, 2007).

Através de técnicas menos invasivas é possível observar como os processos se dão em indivíduos normais e não apenas em lesionados, como antigamente. Entretanto, sabe-se muito mais sobre as áreas envolvidas na linguagem em adultos do que em crianças. O fato de estarem em constante desenvolvimento, torna-as mais susceptíveis à plasticidade e mudanças funcionais, podendo não ser as mesmas áreas nas crianças (Muszkat e Mello, 2008).

O processamento da linguagem é bastante complexo, ocorrendo em estruturas específicas e localizações determinadas. Desde Marc Dax (1865), inúmeros estudos foram realizados envolvendo a questão da especialização hemisférica da linguagem. Atualmente, há uma grande aceitação que alguns aspectos da linguagem seriam mediados por um hemisfério dominante (Knecht et al., 2000). Em geral, é o hemisfério esquerdo que estaria relacionado à articulação e compreensão da linguagem, assim como no reconhecimento da palavra; e o direito, com aspectos prosódicos e afetivo-emocionais da linguagem (Springer e Deutsch, 1998).

Quanto aos aspectos neurais relacionados à linguagem expressiva, temos o cerebelo, responsável pelo sequenciamento dos movimentos na fala e pela monitoração da fonação; o córtex motor (porção posterior do lobo frontal), que estaria associado aos atos motores de fonação; os nervos motores, que controlam a motricidade dos músculos faciais e órgãos fonoarticulatórios; e os núcleos da base, responsáveis pelo controle do automatismo motor (Rocha, 1999). Além dessas estruturas, temos a área de Broca, situado no giro frontal ascendente esquerdo, com papel fundamental no planejamento motor da linguagem, na articulação e produção da fala (Machado, 2002). Os aspectos não-verbais como a prosódia e pragmática estão associados ao hemisfério direito. No entanto, o aspecto motivacional da linguagem esta relacionado ao giro do cíngulo e outras áreas mais límbicas do lobo frontal (Muszkat e Mello, 2008).

As funções receptivas envolvem as áreas auditivas, localizada no lobo temporal, e as áreas visuais, predominantes no lobo occipital, além dos nervos sensitivos e as áreas motoras, assim como as relacionadas com os movimentos oculares e a rotação da cabeça, movimentos presentes durante a leitura (Machado, 2002). A área de Wernicke, localizada na porção medial e superior do lobo temporal esquerdo, é responsável pela compreensão da linguagem (Price, 2000). Outra estrutura importante é o giro angular situado no lobo parietal, participa do processo de decodificação da linguagem escrita, processo de leitura e integração de informações sensoriais (Bookheimer et al., 1995).

Habilidades Visuoconstrutivas

A partir do estudo de pacientes com lesões unilaterais, observa-se uma diferenciação entre os dois hemisférios cerebrais quanto suas capacidades no processamento das informações para a realização de tarefas visuo-construtivas. Assim, considera-se o hemisfério direito associado à configuração global de um estímulo, enquanto o hemisfério esquerdo estaria associado à discriminação de suas partes constituintes (Zuccolo, Rzezak e Góis, 2010).

Além de uma diferenciação hemisférica, as habilidades visuo-construtivas dependem de regiões corticais posteriores, tais como o córtex occipital fundamental na análise e integração dos componentes visuais (formas, cores, tamanho) e córtex parietal (giro angular e supramarginal), relacionado aos componentes espaciais do estímulo e questões visuo-espaciais da grafia (Giannakopoulos et al, 1998; Roncato et al., 1987).

Em relação à elaboração da representação mental, as áreas frontais são ativadas no planejamento da ação motora. Por fim, a execução de qualquer tarefa visuo-construtivas exige a participação das áreas do córtex motor seja para a construção ou para reprodução de algum padrão visual (Bushnell e Boudreau, 1993).

Funções Executivas

Por muito tempo, acreditou-se que as funções executivas estavam relacionadas apenas ao lobo frontal, especificamente ao córtex pré-frontal. Atualmente, através dos métodos de neuroimagem sabe-se que esse constructo está associado a diferentes regiões dos lobos frontais (Stuss et al. 2002; Stuss e Alexander 2000; Koechlin et al. 2000), bem como distribuídos em uma ampla rede cerebral, que inclui estruturas subcorticais e vias do tálamo (Monchi et al. 2006; Lewis et al. 2004). Presume-se que o córtex pré-frontal seja a região mais relacionada ao funcionamento executivo e possui papel central na coordenação e integração entre os diferentes processos cognitivos e emocionais. (Mitchell e Phillips, 2007). Além disso, Weinberger (1993) ressalta seu alto grau de conectividade, compreendendo mais de trinta por cento do peso cerebral e sua superfície.

O córtex pré-frontal possui aspectos únicos que sugerem a mediação e o controle do funcionamento executivo, sendo a área que possui mais regiões cerebrais conectadas a elas, além de receber diretamente entrada de outras áreas heteromodais associativas. O córtex pré-frontal é o maior alvo neocortical das informações processada nos circuitos límbicos e das projeções dos circuitos (Royall et al., 2002). Deste modo, é a única região cortical capaz de integrar informações motivacionais, mnêmicas, emocionais, somatosensoriais e sensações externas, de maneira unificada e com metas direcionadas. (Anderson et al., 2001a).

O córtex frontal pode estar organizado de acordo com a natureza do material a ser processado ou com o tipo de processamento requerido (Owen, 2000; Goldman-Rakic, 1996). Por exemplo, a manipulação de informação em tarefas complexas normalmente ativa o córtex pré-frontal inferior direito, enquanto o córtex frontal superior é mais ativado quando a informação precisa ser renovada e mantida na memória (Wager e Smith, 2003). Stuss et al (2002) notaram que a área frontal dorsolateral direita estaria envolvida no monitoramento do comportamento e a mesma área só que do lado esquerdo estaria relacionada ao processamento verbal. De acordo com Fuster (2002) a região pré-frontal medial e cíngulo anterior estariam envolvidos na reorganização da atenção e na motivação, a região pré-frontal lateral na memória de trabalho e definir, e a região órbito-medial no controle inibitório de impulsos e interferência.

Como visto anteriormente, o córtex pré-frontal está envolvido com muitos aspectos cognitivos e comportamentais específicos. Contudo, Royall e colaboradores (2002) identificaram três importantes circuitos (síntese apresentada na figura 5) que estão mais relacionados ao desempenho das funções executivas, com origem no lobo frontal e enviando projeções para os núcleos da base e para o tálamo.

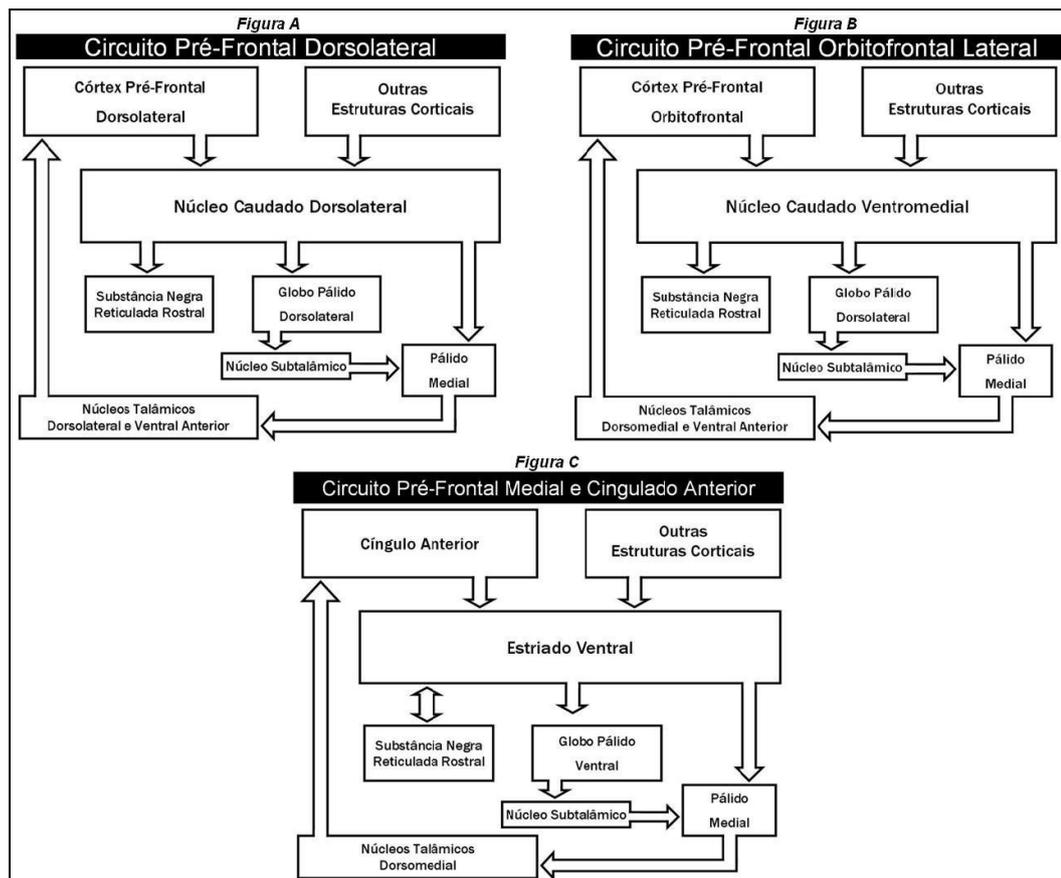


Figura 5 – Circuitos do córtex pré-frontal e as funções executivas. Adaptado de Royall e colaboradores (2002).

O primeiro é o circuito córtex pré-frontal dorsolateral que se projeta para parte dorsolateral do núcleo caudado e também recebe informações do córtex parietal e da área pré-motora. Esta região pré-frontal dorsolateral é uma área de convergência multimodal e parece ter relação com o planejamento, estabelecimento de metas, flexibilidade cognitiva, fluência, memória de trabalho verbal e visuo-espacial, auto-regulação e tomada de decisão.

Em seguida, o circuito órbito-frontal lateral têm origem no córtex préfrontal lateral inferior e ventral anterior, projeta-se para o núcleo caudado ventromedial e recebe informações de outras áreas corticais. Esta região também recebe entrada de informação das áreas de processamento visual e auditivo dos lobos occipital e temporal. No córtex orbitofrontal, há uma forte interconexão com as áreas de processamento cognitivo e emocional. Portanto, estaria envolvido em alguns aspectos de comportamento social como controle inibitório, empatia e cumprimento de regras sociais.

Por fim, o circuito do cíngulo anterior/córtex pré-frontal medial se projeta para o estriado ventral, recebe sinais do córtex de associação paralímbico, continuando até o núcleo talâmico dorsomedial. Este circuito teria relação com o monitoramento do comportamento, motivação, controle executivo da atenção, seleção e controle de respostas, recebendo informação de regiões como o hipocampo e a amígdala.

De fato, os aspectos multifacetados das funções executivas e os múltiplos componentes das tarefas, dificultam a investigação e o controle das variáveis. Assim, não permitem o isolamento de uma habilidade executiva específica, o que provoca certo questionamento sobre as localizações cerebrais relacionadas ao funcionamento executivo (Collete et al., 2005). Ao mesmo tempo, a grande quantidade de conexões com diversas regiões do cérebro demonstra sua importância no controle da função executiva e no funcionamento de outras funções cognitivas.

Essa perspectiva mais abrangente e "holista" das funções executivas pode ser lida no trabalho de Faw (2003). Nele, o autor lança a idéia do lobo pré-frontal servir como um "comitê executivo" composto de cinco membros ou cinco sistemas sub-corticais-e-posteriores: o apreendedor, o verbalizador, o motivador, o atento e o coordenador. Cada membro desse comitê estaria relacionado a um sistema pré-frontal e à habilidades cognitivas específicas. Segue descrição abaixo.

No caso do apreendedor, via pre-frontal ventro lateral, recebe informações bem básicas sobre objetos e o ambiente de cada um dos cinco sistemas exteroceptivos. Esse sistema utiliza essas informações para discriminar e identificar objetos e situações. O sistema verbalizador, via ventro lateral, também recebe informações sobre objetos e o ambiente, mas se utiliza das informações relacionadas à

comunicação. Já o sistema motivador, via ventro medial orbital, recebe informações diretamente da parte perceptual, aprimorando as informações do sistema apreendedor e verbaizador. Ele também recebe informações interoceptivas, sensações do corpo, respostas emocionais. O sistema atento, via dorso medial, está intimamente ligado ao foco atencional, recebe e processa informações básicas dos objetos e do ambiente, assim como o sistema apreendedor, motivador e coordenador. Por fim, o coordenador, via dorso lateral, recebe informações espaciais e de todos os outros sistemas.

Segundo Faw (2003), todos esses sistemas e vias pré-frontais relacionam-se com várias funções cognitivas tais como a percepção, atenção, memória, controle motor, pensamento, entre outras. De certa forma, esse comitê executivo proposto pelo autor tem um papel relevante não só para o estudo dos circuitos neurais, mas também, para a maneira de pensar o funcionamento e desenvolvimento das funções cognitivas como um todo. Certas áreas podem ter relação com certas habilidades cognitivas, assim como as funções executivas podem coordenar todas elas, por que não? Ou quem sabe, as funções executivas sejam habilidades mais avançadas de cada função cognitiva, possuindo assim circuitos comuns?

Enfim, explicar os modelos de cognição normal e suas respectivas áreas cerebrais e circuitarias têm sido um constante desafio. Devido à complexidade do processamento cognitivo, as funções complexas precisam ser divididas em processos mais simples e gerais, assim como serem localizadas anatomicamente de maneira isolada. É possível ter um olhar abrangente sobre o funcionamento cerebral e ao mesmo tempo, compreender mais facilmente os aspectos cognitivos e comportamentais do ser humano.

A neurociência e a neuropsicologia cognitiva, as novas descobertas sobre a circuitaria cerebral e as respectivas relações com funções complexas do cérebro têm gerado muitas explicações e aplicações. Esses fatos nos convencem cada vez mais da importância que a pesquisa e o conhecimento produzido pelas Ciências cognitivas possuem, em especial na grande contribuição para o desenvolvimento humano.

REFERÊNCIAS

- KASS-SIMON, G., and FARNES, P. (1990). Women of Science: Righting the Record. Bloomington, IN: Indiana University Press.
- LINDZEY, G. (Ed.). (1936). History of Psychology in Autobiography, Vol. III. Worcester, MA: Clark University Press.

RAICHLE, M.E. (1998). Behind the scenes of functional brainimaging: A historical and physiological perspective. Proc.

Nat. Acad. Sci. U.S.A. 95:765-772.

SHEPHERD, G.M. (1992). Foundations of the Neuron Doctrine. New York: Oxford University Press.