

Funções Cognitivas: Bases Neuroanatômicas

PUC-RIO



3

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 anátomo-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.

3.1. 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).

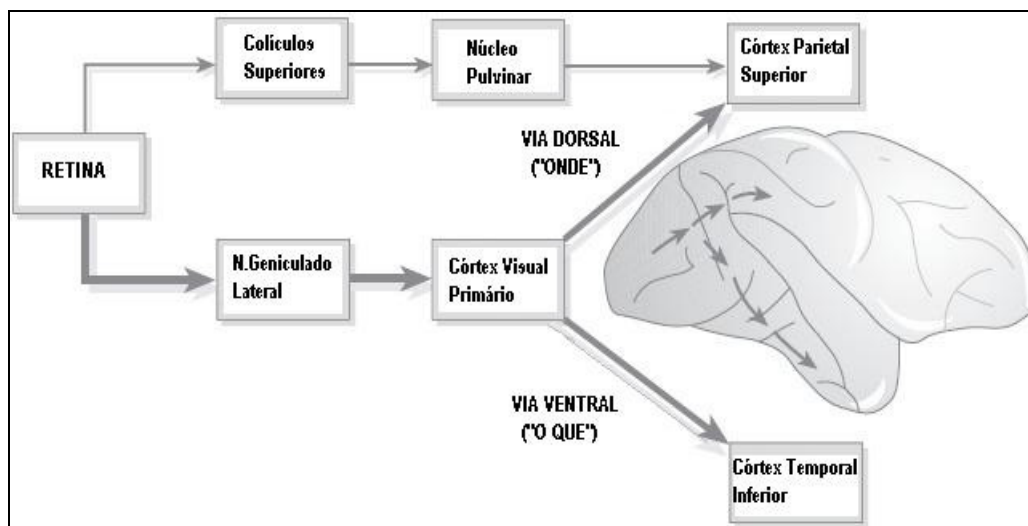


Figura 3 – Esquema das vias dorsal e ventral (adaptado de Milner e Goodale, 1995).

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 póstero-medial 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 mitrales. 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.

3.2. 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 pré-frontais 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).

3.3. Memória

Consideráveis avanços têm ocorrido, nas ultimas 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.

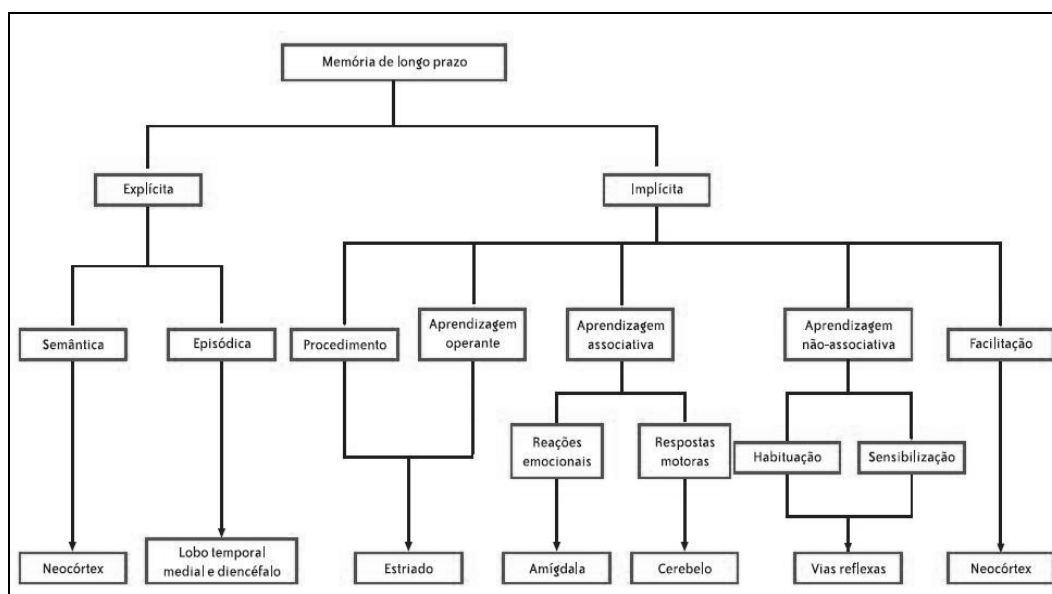


Figura 4 - Memória de longo prazo e suas estruturas associadas. Adaptado de Callegaro e Landeira-Fernandez (2007).

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).

3.4. 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 Neiva-Silva, 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 seqüenciamento 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 está 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).

3.5. 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).

3.6. 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 cingulado

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.

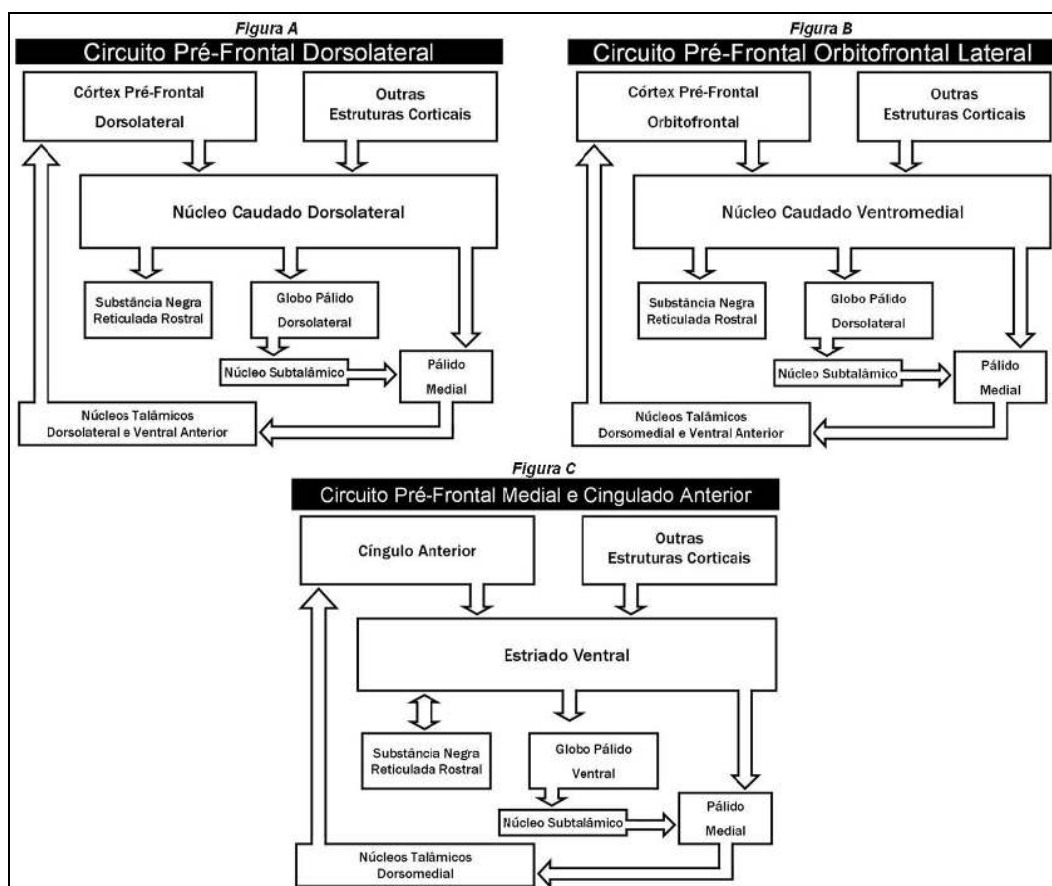


Figura 5 – Circuitos do córtex pré-frontal e as funções executivas. Adaptado de Royall e colaboradores (2002).

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 pré-frontal 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 *atentivo* 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.