



Funções Cognitivas – convergências entre neurociências e epistemologia genética

Helena Vellinho Corso

RESUMO – Funções Cognitivas – convergências entre neurociências e epistemologia genética. O conhecimento crescente das estruturas e das funções cerebrais vêm permitindo o incremento do estudo sobre as funções cognitivas, a partir da relação entre os processos psicológicos e as organizações cerebrais correspondentes. Neste contexto, o presente trabalho argumenta no sentido da pertinência de uma aproximação entre a explicação piagetiana, de um lado, e a explicação oferecida pelas neurociências, de outro, para o mesmo processo de conhecimento e de desenvolvimento cognitivo, buscando coerência e complementaridade entre as duas explicações. Detivemo-nos em alguns conceitos centrais da Epistemologia e Psicologia Genéticas – *assimilação, acomodação, esquema e estágio de desenvolvimento* – para depois buscar convergência entre esses conceitos psicológicos e o conhecimento sobre estrutura, funcionamento e desenvolvimento do sistema nervoso.

Palavras-chaves: **Assimilação. Acomodação. Esquema. Estádio de desenvolvimento. Cérebro.**

ABSTRACT - Cognitive functions – convergences between neurosciences and genetic epistemology. The growing knowledge of the cerebral structure and function allows the progressive improvement of the study of the cognitive functions, considering the relationship between psychological process and the correspondent cerebral organization. In this context, the present work proposes an approach between the piagetian explanation and the explanation offered by neurosciences to the same processes: knowledge and cognitive development, looking for coherence and complementary ideas between both explanations. We took the central concepts of Genetics Epistemology and Psychology - *assimilation, accommodation, scheme and cognitive developmental stages* – in order to, afterwards, look for convergence between these psychological concepts and the knowledge about structure, functioning and development of the nervous system.

Keywords: **Assimilation. Accommodation. Scheme. Cognitive developmental stages. Brain.**

Introdução

A partir da *década do cérebro* (últimos dez anos do século XX), vem se tornando cada vez mais preciso e completo o conhecimento do complexo funcionamento do cérebro humano. O estudo do cérebro foi facilitado pelo desenvolvimento de tecnologias – como o imageamento por ressonância magnética (IRM) e a tomografia com emissão de pósitrons (varredura por TEP) – que permitem exames progressivamente minuciosos acerca das estruturas e funções cerebrais (Sternberg, 2008). Se tal avanço, na pesquisa a respeito do sistema nervoso, impulsiona as neurociências de modo geral, também os psicólogos cognitivos podem incrementar seus estudos sobre as funções cognitivas, por exemplo, relacionando o comportamento observável durante uma determinada tarefa cognitiva com o que é revelado em termos de estrutura e/ou processo cerebral num exame de imagem.

De fato, como explica Romanelli (2003), o estudo das relações entre as organizações cerebrais e os processos psicológicos correspondentes caracteriza o objeto de estudo da Neuropsicologia, uma entre as inúmeras disciplinas que, em conjunto, constituem as neurociências.

Não só as funções cognitivas vêm sendo relacionadas com os aspectos neurológicos, cujo conhecimento, como vemos, tem sido em muito ampliado nos últimos anos. A Neuropsicologia abrange diferentes dimensões do comportamento humano e pensa a relação mente-cérebro também no tocante aos afetos, como mostra o surgimento da Neuro-psicanálise.

Os neuropsicanalistas empenham-se na procura de correlações entre achados da psicanálise e das neurociências. Tal empenho, afirmam, fora envidado pelo próprio Freud, que buscava bases científicas para a psicanálise, embora contando na época com poucos recursos em termos de conhecimentos neurológicos (Pfeffer, 2005). Segundo Kaplan-Solms e Solms (2005), Freud sempre esteve consciente de que cada processo mental deve estar, de alguma forma, representado como um processo fisiológico que ocorre nos tecidos do cérebro, embora negasse uma idéia localizacionista, que faria corresponder faculdades mentais complexas a centros neurológicos circunscritos.

Os diversos estudos que relacionam atividade cerebral e processos cognitivos – em uma abordagem que é própria da Neuropsicologia, como se disse acima – geralmente tomam, para tal aproximação, os modelos de cognição formulados dentro do quadro da Psicologia Cognitiva. O presente trabalho propõe que essa aproximação entre cognição e realidade cerebral pode ser feita, também, a partir do modelo piagetiano. Como sugere Becker (2005), está na hora de correlacionar os achados de Piaget e os achados da neurologia: “(...) diz Battro que Piaget fez um tratado do cérebro sem neurologia; está na hora de interpretar esses resultados com a neurologia atual (...)” (p. 33).

A aproximação entre as proposições de Piaget e o conhecimento crescente do cérebro não é inédita. Especificamente a Neuropsicologia do desenvolvimento, disciplina mais recente que procura entender as relações entre o cérebro

e o desenvolvimento infantil, faz referência aos estádios do desenvolvimento descritos pelo epistemólogo suíço, atribuindo a cada estágio uma correlação significativa com as fases do desenvolvimento cerebral (Miranda; Muszkat, 2004). Essa abordagem correlaciona as novidades comportamentais de cada estágio com o desenvolvimento das diferentes regiões do córtex cerebral – assim, por exemplo, a integração entre as áreas sensoriais e motoras do córtex primário permite a coordenação dos movimentos mão-boca e mão-objeto, a partir do terceiro mês do estágio sensório-motor. Entretanto, o sistema piagetiano vai além da descrição dos comportamentos próprios de cada fase do desenvolvimento cognitivo, e nos perguntamos até que ponto os principais conceitos que o integram encontram uma base neurocientífica.

Realizar tal aproximação de forma mais abrangente parece, é certo, um projeto ousado, que demandaria o esforço integrado de especialistas das duas áreas: a Epistemologia Genética e as neurociências¹. Haveria de ser uma correlação cuidadosa, que levasse em conta o objeto específico de cada ciência: o conhecimento humano, no caso da primeira, e a estrutura e função do sistema nervoso, no caso da segunda. O presente trabalho, sem se imaginar capaz de tamanho feito, caminha nesta direção, ensaiando uma possibilidade de aproximação entre os achados das neurociências e o sistema piagetiano. Na verdade, buscamos neste momento, e no espaço exíguo deste texto, um esforço de resposta para a questão: é possível encontrar convergência entre a explicação neurocientífica e a explicação piagetiana acerca do processo de construção de conhecimento? Ou, por outra, o que se sabe sobre o conhecer e o aprender, desde um ponto de vista das neurociências, confirma a explicação piagetiana desses processos? Circunscrevemos estas questões à busca de coerência e complementaridade entre o conhecimento sobre o sistema nervoso, de um lado, e, de outro, alguns dos conceitos mais centrais do sistema piagetiano: *assimilação, acomodação, esquema e estádios do desenvolvimento*. Se em relação aos três primeiros conceitos empreendemos uma aproximação não encontrada na literatura, no caso dos *estádios do desenvolvimento*, nos limitamos a expor o que a literatura neurocientífica já apresenta.

Epistemologia Genética: Explicação Biológica do Conhecimento

Em sua autobiografia, Piaget descreve sua obra como uma tentativa de explicação biológica do conhecimento (Coll; Gillieron, 1987). O conhecimento traduz-se em um caso particular das relações entre o organismo e o meio e as estruturas cognitivas, embora não inatas são, efetivamente, estruturas orgânicas. Destacando o fator endógeno na organização dos esquemas da inteligência, afirma que “as coordenações gerais da ação, condições da formação dos conhecimentos mais fundamentais, supõem não somente coordenações nervosas, mas coordenações ainda mais profundas, as interações que dominam toda

a morfogênese” (Piaget, 1973, p. 19). Insistindo sempre na natureza biológica das estruturas lógico-matemáticas, são inúmeras as referências ao envolvimento inequívoco do sistema nervoso na construção cognitiva:

(...) o funcionamento cerebral exprime ou prolonga formas muito gerais e não particulares de organização; e (...) as estruturas lógico-matemáticas, sem estarem inscritas antecipadamente nesse funcionamento no estado de estruturas, resultam entretanto desse funcionamento, desde que é utilizado na solução de problemas efetivos, e dá lugar a um duplo movimento de construções e de abstrações reflexivas por patamares sucessivos de equilíbrios (Piaget, 1973, p. 371).

Ao se considerar essa sucessão de patamares de equilíbrio, isto é, o próprio processo de formação das estruturas mentais, verifica-se que cada etapa ou estágio é necessário ao seguinte, constituindo-se em sua condição prévia. O mecanismo de filiação das estruturas remonta ao puro biológico ou orgânico: “(...) a auto-regulação cognitiva utiliza os sistemas gerais de auto-regulação orgânica que se encontram em todas as escalas genéticas, morfogenéticas, fisiológicas e nervosas, para depois adaptá-las aos dados novos, no que constitui, aliás, a troca com o meio” (Ramozzi-Chiarottino, 1972, p. 51). A estruturação do sistema nervoso apareceria como intermediária entre a fisiológica e a mental, já que a reação nervosa garantiria a transição entre a assimilação fisiológica e o funcionamento do organismo e a assimilação cognitiva ou integração de objetos ou situações nos esquemas de ação e, finalmente, nos esquemas operatórios:

O intermediário entre a organização hereditária e as leis do pensamento é o funcionamento cortical na sua dupla qualidade de funcionamento hereditário, enquanto funcionamento, mas desprovido de quase toda programação hereditária (Ramozzi-Chiarottino, 1972, p. 70).

Sabe-se que o crescimento orgânico e, especialmente, a maturação do complexo formado pelo sistema nervoso e pelos sistemas endócrinos é um dos quatro fatores do desenvolvimento apontados por Piaget: “(...) a maturação desempenha um papel durante todo o crescimento mental”. Entretanto, ainda se conheceria pouco, diz o epistemólogo em 1966, sobre que papel exatamente é este: “(...) não sabemos, em particular, quase nada das condições de maturação que possibilitam a constituição das grandes estruturas operatórias” (Piaget; Inhelder, 1986, p. 130).

Assim, parece totalmente justificável e até necessário colocar em relação os conhecimentos recentemente ampliados acerca das estruturas e do funcionamento do cérebro com o entendimento piagetiano acerca da construção do conhecimento. Tal aproximação não vem acontecendo entre os estudiosos de Piaget, muitos deles, talvez, tomando sua obra mais de um ponto de vista filosófico e menos biológico. Como diz Ramozzi-Chiarottino, “quase todos os

comentadores de Piaget procuram ignorar aquilo que para ele mesmo sempre foi fundamental, ou seja, que a troca do organismo com o meio determina a construção orgânica das estruturas mentais” (1984. p. 34).

Epistemologia Genética e Neurociências: Achados Científicos em uma Perspectiva Histórica

Os estudos e as pesquisas sobre o sistema nervoso têm origens muito antigas, remontando à civilização egípcia, em que escribas descreveram casos neurológicos (Romanelli, 2003), e à Grécia Antiga, com a medicina hipocrática (Rezende, 2001). A fase propriamente científica do estudo do cérebro, entretanto, se iniciaria com os estudos de Broca (1861) e Wernicke (1874), que, respectivamente, demonstraram as áreas responsáveis pela função expressiva e perceptiva da fala (Bastos, 2006). Ao longo do século XX, muitas descobertas sobre o funcionamento do sistema nervoso seriam feitas, em todos os níveis (anatômico, histológico, celular, bioquímico). Certamente a quantidade e precisão das informações estiveram sempre relacionadas com os métodos de estudo do cérebro. Se os estudos post-mortem (dissecação), bem como a pesquisa “in vivo” com animais, vinham sendo usados há muito tempo (Sternberg, 2008), o registro da atividade elétrica do cérebro só foi possível através do desenvolvimento do eletroencefalograma, nas primeiras décadas do século XX (Low, 2006). Mas foi o desenvolvimento bem mais recente das técnicas de imagem, permitindo o exame das estruturas e dos processos cerebrais, que, com certeza, significaram o impulso maior no conhecimento do sistema nervoso. Assim, a denominada “década do cérebro” (última década do século XX), em que o estudo do sistema nervoso recebeu ênfase especial, apoiou-se em grande parte no desenvolvimento de poderosos aparelhos de sofisticada tecnologia (Romanelli, 2003).

Segundo Rotta (2006-b), o principal ensinamento dessa década recai sobre a noção de plasticidade cerebral: o cérebro tem muito mais capacidade de sofrer modificações do que se pensava até alguns anos atrás. E tais modificações relacionam-se diretamente com as mudanças ambientais, isto é, dependem das experiências vividas pelo indivíduo. Hoje se compreende, segundo a autora, que todas as funções corticais superiores envolvidas na cognição são expressões da plasticidade cerebral, considerando as modificações do nível molecular ao cognitivo.

A teoria piagetiana foi elaborada durante um longo período de tempo, já que suas publicações abrangem mais de seis décadas do século XX (entre 1918 e 1980). Com certeza, o conhecimento progressivo do sistema nervoso não passava despercebido a Piaget, que sempre considerou a maturação do sistema nervoso uma condição necessária, embora não suficiente, do desenvolvimento cognitivo. No trabalho *As Praxias na Criança*, do livro *Problemas de Psicologia Genética* (1983), escrito em 1972, por exemplo, faz referência ao trabalho de

dois neurologistas – Tournay (1878-1969) e Minkowski (1884-1972) – mencionando em duas passagens aspectos do desenvolvimento neurológico que estariam relacionadas a determinados comportamentos próprios dos sub-estádios do sensorio-motor. Entretanto, acompanhando-se a evolução dos conhecimentos sobre sistema nervoso, verifica-se que todo o grande acúmulo de informações impulsionadas pela década do cérebro permaneceram inacessíveis a Piaget.

Por que é importante relacionar as proposições de Piaget a esses conhecimentos mais recentes em neurociências? Ora, como vimos, a noção de plasticidade cerebral é relativamente nova: até bem recentemente, as neurociências estiveram dominadas pela crença de que o sistema nervoso seria uma estrutura programada não modificável, que mudaria apenas em uns poucos locais e sob alguns poucos mecanismos (Wolpaw; Carp, 2006). Parece-nos que são precisamente os últimos avanços das neurociências, em especial a noção de plasticidade – essa propriedade do sistema nervoso que permite o desenvolvimento de alterações estruturais em resposta à experiência, e como adaptação ao ambiente, tornando possíveis capacidades e comportamentos – que convergem de modo especial com a noção de interação sujeito-objeto, resultando em construção de conhecimento. É nesse sentido que destacamos a importância e a riqueza de uma aproximação entre as explicações neurocientífica e piagetiana dos processos cognitivos, foco do presente trabalho. Ao mesmo tempo, centramos a referida aproximação em torno dos conceitos de assimilação, acomodação, esquema e estágio de desenvolvimento, por considerá-los desdobramentos das noções de interação e construção – centrais ao sistema piagetiano ao longo de toda a sua obra, em que pese o período abrangente de tempo em que ela foi sendo elaborada. Como afirmam Coll e Gilliéron (1987), o fato de a teoria de Piaget ter sido elaborada ao longo de seis décadas torna a perspectiva histórica importante para quem se acerca de sua obra, sendo, entretanto, também verdade que notáveis coerência e continuidade podem ser verificadas em seu trabalho.

Interação e Construção

Para tentar aproximar as explicações piagetiana e neurocientífica dos processos de conhecimento e aprendizagem, tomaremos os principais conceitos da teoria piagetiana e buscaremos um correlato nas descrições realizadas pelas neurociências.

Partimos do princípio de que os conceitos mais centrais do sistema piagetiano são o de *construção* e *interação*, conceitos interdependentes e complementares entre si: “Sujeito e objeto não têm existência prévia, a priori: eles se constituem mutuamente, na interação. Eles se constroem” (Becker, 2001. p. 70).

Coll (2004) argumenta que a idéia original do construtivismo – qual seja a de que o conhecimento resulta de uma dinâmica de interação entre as características do objeto e os aportes do sujeito, sendo fruto, portanto, da atividade mental construtiva – teve uma primeira formulação articulada e precisa nos trabalhos de Piaget e colaboradores, sendo que esta idéia caracteriza um determinado paradigma do psiquismo humano.

Desdobrando a idéia central de *interação*, buscaremos encontrar o significado neurocientífico dos conceitos de *assimilação* e *acomodação*, posto que é o duplo movimento de assimilação às estruturas e de acomodação destas ao real que traduz a interação contínua entre o sujeito e o objeto. Nas palavras de Piaget, em *Biologia e Conhecimento*:

(...) a primeira função do conhecimento é ser uma assimilação, no sentido precisamente de uma interação entre o sujeito e o objeto, tal que há ao mesmo tempo acomodação tão extensa quanto possível aos caracteres do objeto e incorporação, igualmente essencial, a estruturas anteriores (1973, p. 70-1).

Quanto à idéia de *construção*, ela nos remete ao aspecto estrutural da inteligência. Assim, tentaremos buscar um correlato na explicação neurocientífica para o conceito de *esquema*. Pois, se o equilíbrio entre a assimilação e a acomodação caracteriza a adaptação ao meio, esta é indissociável da organização dos esquemas. O esquematismo da organização é inseparável da atividade assimiladora e acomodadora, cujo funcionamento explica o desenvolvimento das sucessivas estruturas.

Sabemos que Piaget identificou um caminho necessário segundo o qual se sucedem as estruturas cognitivas, isto é, os estádios do desenvolvimento da inteligência. Deste modo, abordaremos também a descrição da sucessão de estágios do desenvolvimento neurológico, expondo as correlações que, essas sim, já são encontradas na literatura.

Trocas Entre o Organismo e o Meio: Explicação Piagetiana e Neurológica da Assimilação e da Acomodação

Para Piaget, assimilação e acomodação, que, juntas, compõem o processo de adaptação, constituem as invariantes funcionais da inteligência e da organização biológica.

Selecionamos, em *Problemas de Psicologia Genética*, algumas passagens em que os conceitos de assimilação e acomodação, bem como o conceito de esquema, são definidos:

(...) a assimilação é apenas o prolongamento, no plano do comportamento, da assimilação biológica, no sentido amplo em que toda a reação do organismo ao meio consiste em assimilar este às estruturas daquele (...). É, portanto, a

assimilação que está na origem dos esquemas, exceto os esquemas reflexos e hereditários do início, que orientam as primeiras assimilações: a assimilação é o processo de integração em que o esquema é a resultante (Piaget, 1983. p. 80-1). Mas um esquema de assimilação está incessantemente submetido às pressões das circunstâncias e pode diferenciar-se em função dos objetos aos quais se aplica. Designaremos por acomodação (por analogia com o que os biólogos designam por ‘acomodatos’, isto é, variações fenotípicas distintas dos caracteres genotípicos) esta diferenciação na resposta à ação dos objetos sobre os esquemas (...) (Piaget, 1983. p. 92).

(...) em todos os domínios (percepção e ‘associação’) em que o indivíduo adquire algum conhecimento pela leitura da experiência, esta ‘leitura’ não consiste em registros cumulativos, mas sim em ‘assimilações’, isto é, em incorporações do dado em esquemas que se organizam graças às atividades do indivíduo, assim como às propriedades do objeto (Piaget, 1983. p. 108).

Vê-se como Piaget explica a inteligência como um caso particular da adaptação do organismo ao meio, onde o organismo assimila o meio à sua estrutura ao mesmo tempo em que acomoda esta ao meio. Neste processo adaptativo, verifica-se um equilíbrio entre tais trocas:

Do ponto de vista psicológico, esta noção de equilíbrio desempenha um papel considerável (...). Os esquemas da inteligência sensório-motora podem ser interpretados por um equilíbrio progressivo entre a assimilação e a acomodação e pode prosseguir-se esta descrição funcional nos níveis pré-operatórios e operatórios do próprio pensamento (1983. p. 176-7).

Como poderíamos compreender esse processo de assimilação e acomodação em termos neurológicos, isto é, que estruturas e funções do sistema nervoso constituem-se no substrato da assimilação e acomodação, que inicialmente acontecem no plano motor e, depois, em nível de pensamento?

Pois, se Piaget abordou essencialmente o aspecto psicológico de tais processos, nunca desconheceu tratar-se de um processo que é, em última análise, neurológico, posto que é a atividade nervosa que garante a vida em equilíbrio com o meio externo.

Como descreve Riesgo (2006), na escala filogenética vê-se uma sofisticação crescente desta atividade nervosa que garante as trocas com o meio. Nos filos animais primitivos ainda não havia neurônios; os primeiros neurônios provavelmente surgiram nos celenterados, mas as células nervosas permaneceram misturadas com outros tipos de células, e não havia uma organização neuroanatômica. O Sistema Nervoso Central (SNC) só surgiu nos platelmintos e anelídeos. Nos humanos, os neurônios existentes no SNC classificam-se em: a) *neurônio aferente* (ou sensitivo), que recebe as informações; b) *neurônio eferente* (ou motor), que envia as informações ao meio externo; c) neurônio de associação, que fica no interior do SNC e representa o maior contingente de células. Riesgo procura simplificar o processo de recepção e troca entre o ambiente e o SNC:

(...) as informações sensitivas entram, viajam e são decodificadas na parte posterior do SNC. Elas são então processadas e modificadas pelos neurônios de associação e finalmente saem do SNC pela parte anterior, tanto do cérebro como da medula. Evidentemente, esse caminho de entrada, modificação e saída não é uma via expressa direta. Ocorre uma série de conexões intermediárias, que podem modular a informação em qualquer um dos três pontos, tanto na entrada como na interpretação ou na saída (2006. p. 26).

Todo esse processo de troca entre o organismo e o ambiente não supõe apenas o SNC: o sistema nervoso, que, como se vê, é a base para a capacidade de conhecer e adaptar-se ao meio, divide-se em Sistema Nervoso Central, que compreende o cérebro e a medula, e o Sistema Nervoso Periférico, que inclui os nervos espinais e os nervos cranianos. Como explica Sternberg (2008), a principal função do SNP é transmitir a informação entre o SNC e os nervos que se localizam fora deste, tais como os dos órgãos sensoriais externos (como pele, ouvido, olhos) e de partes internas do corpo (como estômago e músculos). Há então uma comunicação bidirecional no sistema nervoso: aí, as estruturas receptoras recebem a informação sensorial proveniente dos nervos do SNP e transmitem essa informação ao SNC; as estruturas efetoras transmitem a informação motora do SNC ao SNP. “A medula espinhal desempenha um papel decisivo ao encaminhar a informação sensório-motora até o cérebro, de modo que este possa analisar e sintetizar a informação sensorial e dirigir-lhe nossas respostas motoras” (Sternberg, 2000. p. 46).

Romanelli (2003) define a aprendizagem, de um ponto de vista neuropsicológico, como resultado da recepção e troca de informações entre o meio ambiente e diferentes centros nervosos: “(...) o ato de aprender exige sempre um estímulo externo – informação – que é captado pelos órgãos dos sentidos habilitados a transformar esse estímulo de natureza físico-química em impulso nervoso de natureza fisiológica” (p. 51). O impulso (em que foi transformado o estímulo externo pelos órgãos dos sentidos) chega até a área do córtex cerebral correspondente ao sentido estimulado. Desta forma, o estímulo visual termina no lobo occipital; o auditivo, no lobo temporal; o tátil ou somestésico, no lobo parietal. A sensação se forma, portanto, nas áreas onde estão projetados os estímulos, chamadas áreas de projeção, ou primárias. Entretanto, com as sensações não há ainda elaboração de significado, que decorre da percepção, desencadeada com a ativação das áreas secundárias: “Neurônios associativos fazem a ligação das áreas primárias com as secundárias, onde vai acontecer a percepção, que consiste na formação de imagens sensoriais correspondentes ao estímulo. Trata-se de imagens com significado” (p. 52). Das áreas secundárias, a informação passa às áreas terciárias ou de integração, onde ocorre a integração de todos os aspectos do estímulo, de modo a formar uma percepção mais global.

É importante notar que o estímulo recebido pelo cérebro pode ser externo ou interno, podendo ter origem na própria atividade cerebral (memória, imagi-

nação...). Desta forma, nem toda imagem decorre da percepção de um estímulo externo.

Os processos ‘psicológicos’ de assimilação e acomodação, definidos por Piaget, podem ser explicados em termos neurocientíficos pela atividade neuronal descrita acima, em que estruturas receptoras recebem a informação do meio, a enviam a regiões específicas do córtex cerebral, processando-a (neurônios associativos), o que resulta numa resposta do organismo enviada ao meio através das estruturas efetoras.

Construção do Conhecimento: Explicação Piagetiana e Neurológica das Mudanças Estruturais

Diz Piaget (1987): “(...) a organização de que a atividade assimiladora é testemunho é, essencialmente, construção (...)” (p. 389).

Ora, o funcionamento da inteligência dá lugar a *crystalizações* estruturais, de modo que o funcionamento invariante promove uma estruturação progressiva. Assim, em Piaget, a idéia da interação sujeito-meio é indissociável da idéia de construção, já que as invariantes funcionais (assimilação/acomodação) resultam, pelo próprio funcionamento, na formação de esquemas – estruturas novas – que se sucedem em complexidade, e que garantem uma adaptação cada vez mais perfeita ao real. O processo de assimilação/acomodação, que se desenrola na ação do sujeito, acaba resultando na construção de uma nova estrutura – instância que organiza os sistemas de esquemas.

Trata-se, então, de encontrar a descrição neurocientífica desse processo pelo qual o funcionamento de troca acaba resultando na construção de novas estruturas, ausentes no início do desenvolvimento. Como o processo de recepção e troca com o ambiente resulta na construção de nova estrutura, ou de novo esquema, na terminologia piagetiana? Qual seria o substrato neural do esquema, conceito tão central na teoria piagetiana?

Lembremos, em primeiro lugar, que o processo de recepção e troca com o meio presente em todas as etapas do desenvolvimento cognitivo é, em última análise, um processo neuronal, que envolve neurônios sensitivos, motores e de associação. Os neurônios são células excitáveis que se comunicam entre si e com outras células efetoras (como células musculares e secretoras). A comunicação interneural é basicamente elétrica, ou seja, por meio da modificação do potencial de membrana.

Na verdade, explica Riesgo (2006), há dois tipos de neurotransmissão: a elétrica e a química. Elas atuam praticamente ao mesmo tempo, mas há diferenças: a elétrica está mais relacionada ao desenvolvimento neuropsicomotor, enquanto a química está mais ligada ao aprendizado em si. Assim, há uma ontogenia até no tipo de transmissão, sendo que a mais antiga é a elétrica, que é bidirecional e é muito importante do ponto de vista neuromaturacional. A neurotransmissão

química é mais recente, é unidirecional, envolve vários eventos e diferentes neurotransmissores. A neurotransmissão mais comum entre os neurônios é mista. Também há um trânsito intraneural, em que ocorre troca de informações entre o núcleo e o citoplasma do neurônio. A membrana celular delimita cada neurônio e mantém diferenças nos íons e nas cargas elétricas dentro e fora da célula.

Como se vê, a compreensão da *sinapse*, ou das conexões entre os neurônios, é central para o entendimento do processo de aprendizagem. Conforme Ohlweiler (2006), a sinapse foi definida por Sherrington, em 1887, como a zona de contato entre membranas, em que uma delas pertence a uma célula nervosa. Há sinapses entre neurônios e entre neurônios e outros tecidos. Na sinapse, a comunicação depende da liberação de substâncias químicas, os já citados neurotransmissores.

As conexões entre os neurônios podem se dar em série ou em paralelo, havendo também conexões não-fixas. O uso faz aumentar o número de conexões, enquanto que o desuso faz diminuir a quantidade de botões sinápticos (Riesgo, 2006).

Ohlweiler (2006) afirma que o conhecimento da transmissão sináptica é a chave para compreender a base neural do aprendizado e da memória. O conceito de sinapse está muito ligado ao conceito de *engrama*, que caracteriza uma modificação estrutural do sistema nervoso, decorrente da sinapse, sendo que o engrama poderia localizar-se no neurônio ou nos circuitos formados pelas conexões entre os neurônios.

A aprendizagem supõe uma etapa de aquisição e outra de consolidação, esta última nos levando de volta à noção de engrama: “Quando um estímulo novo chega ao cérebro, se produz um padrão diferente de descargas, provocando uma modificação que persiste. A retenção dessa modificação se relaciona com a memória ou engramas” (Ohlweiler, 2006. p. 52).

Na etapa de aquisição da aprendizagem ocorre o surgimento de novas sinapses, mas provavelmente há uma modificação nas existentes. Na etapa de consolidação, ocorrem modificações bioquímicas e moleculares nos potenciais pós-sinápticos que se referem à memória.

O mesmo processo é descrito da seguinte forma por Riesgo (2006. p. 21):

Aprendizado e memória podem se confundir do seguinte modo: quando chega ao SNC uma informação conhecida, ela gera uma lembrança, que nada mais é do que uma memória; quando chega ao SNC uma informação inteiramente nova, ela nada evoca, e sim produz uma mudança – isso é aprendizado, do ponto de vista estritamente neurobiológico.

Vê-se que os achados neurocientíficos mostram como aprendizagem e memória são eventos praticamente indissociáveis.

Retomando Piaget, pensamos que o engrama é o melhor correlato neurobiológico para o conceito de esquema. Como vimos, o engrama caracteriza uma modificação estrutural do sistema nervoso, decorrente da sinapse; esta,

por sua vez, caracteriza a conexão entre neurônios decorrente da chegada de um estímulo no processo de trocas com o meio. As conexões neuronais “detonadas” pelo estímulo geram alterações moleculares ao nível do neurônio. A retenção dessas alterações é representada pelo engrama, ou memória, ou, talvez possamos acrescentar, pelo esquema piagetiano.

Realizando uma investigação dos sentidos da palavra engrama, temos que, em Fisiologia, a palavra engrama significa uma marca definitiva, deixada no tecido nervoso por um estímulo, enquanto que em Psiquiatria, o engrama significa uma impressão duradoura deixada na mente a partir de uma experiência física. Tanto no aspecto fisiológico quanto no psíquico, o significado de engrama remete ao conceito de esquema: trata-se de uma modificação estrutural (impressão duradoura, marca definitiva), decorrente de uma ação no meio (experiência). Quando salientamos o significado de memória, presente na idéia de engrama, maior ainda é a aproximação possível com o conceito de esquema, já que, para Piaget, o esquema é memória (Piaget; Inhelder, 1979).

O fato é que as estruturas cognitivas são orgânicas e encontram-se no córtex cerebral. Na experiência do sujeito, nas trocas com seu ambiente, formam-se novas sinapses, que seriam o registro cerebral da atividade do sujeito sobre o meio, com as transformações que seu cérebro produziu (acomodação). As circunvoluções corticais são as inscrições cerebrais das experiências do sujeito.

Como lembram Palácios e Mora (2004), o cérebro, à época do nascimento, pesa 25% de seu peso adulto, e, se ele multiplica por quatro seu peso ao longo do desenvolvimento, esse aumento não se relaciona com o aparecimento de novos neurônios, mas sobretudo com a formação de sinapses, dendritos e axônios associativos, assim como com o progressivo recobrimento dos neurônios por mielina. Dentro do cérebro, a parte que mais se desenvolve é o córtex cerebral, que chegará a corresponder a 85% do peso total do cérebro. Portanto, é preciso relacionar a formação de sinapses com a formação do córtex cerebral.

Abordemos, pois, o córtex, buscando complementar nossa abordagem a nível microscópico (envolvendo a questão celular e molecular das alterações estruturais do sistema nervoso) com a abordagem neuroanatômica.

Córtex Cerebral

O córtex cerebral é a camada mais externa dos hemisférios cerebrais que desempenha papel vital em todos os processos psicológicos: “o córtex cerebral humano capacita-nos a raciocinar – planejar, coordenar pensamentos e ações, perceber padrões visuais e sonoros, usar a linguagem, e assim por diante. Sem ele, não seríamos humanos” (Sternberg, 2000. p. 57).

Dividem-se os hemisférios e o córtex cerebrais em quatro lobos: o frontal (responsável pelo processamento motor e pelos processos de pensamento superiores), o parietal (onde ocorre o processamento somatossensorial), o temporal (sede principal do processamento auditivo) e o occipital (onde se dá o processamento visual).

Sob o ponto de vista funcional, divide-se o córtex em áreas primárias, secundárias e terciárias. Pode-se fazer referência a essa mesma divisão denominando as diferentes áreas como áreas de projeção – aquelas que estão diretamente ligadas à sensibilidade ou à motricidade, e que correspondem às áreas primárias – ou de associação. Estas últimas podem ser de associação unimodal, que correspondem às áreas secundárias, ou heteromodal, estas correspondendo às áreas terciárias. As áreas de associação unimodais chamam-se assim porque estão envolvidas no processamento do mesmo tipo de informação que as áreas primárias, embora em um nível hierárquico diferente. Estão envolvidas no processamento da informação e também no seu armazenamento. Recebem fibras das áreas primárias sensitivas e enviam fibras para a área motora primária. Levam informações específicas para o sistema límbico, o córtex pré-frontal, as regiões envolvidas com a linguagem, o córtex temporal, o córtex parietal e o córtex occipital.

Como explica Cosenza (2004), as áreas heteromodais não estão diretamente relacionadas nem com a motricidade nem com a sensibilidade, mas encarregam-se de “prover endereços ou mapas que interrelacionam os fragmentos de conhecimento que são específicos das diferentes modalidades, que assim podem tornar-se coerentes em termos de experiências, memórias e pensamentos” (p. 57-8). Essas áreas, portanto, não armazenam informações, mas permitem o acesso a elas, que estão distribuídas em outras regiões.

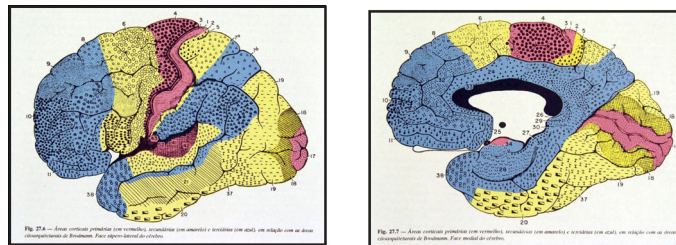
Sternberg (2008) lembra que as áreas de associação constituem aproximadamente 75% do córtex cerebral; elas integram partes variadas das informações provenientes do córtex sensorial e enviam as informações integradas ao córtex motor, iniciando um comportamento intencional.

Cosenza (2004) chama a atenção também para o fato de que o desenvolvimento das áreas de associação depende do envolvimento ativo do indivíduo com o meio ambiente. Este dado – a necessidade de determinadas experiências para que certos desenvolvimentos corticais se efetivem – parece poder explicar a existência de imaturidades neste desenvolvimento em sujeitos específicos. Ao mesmo tempo, a importância fundamental das funções cognitivas desempenhadas pelas áreas associativas no processo de aprendizagem parece justificar totalmente a relação entre aquela imaturidade e algumas dificuldades de aprendizagem (Corso, 2007, 2007-b).

A compreensão de que o desenvolvimento das áreas cerebrais depende de um envolvimento ativo do sujeito em seu meio é mais uma confirmação da idéia piagetiana sobre a necessidade da interação para que a construção cognitiva aconteça.

Rotta (2006), descrevendo a anatomofisiologia da corticalidade cerebral, explica que as mensagens recebidas do meio externo ou interno chegam ao cérebro que elabora uma resposta (simples, se as áreas primárias da corticalidade tiverem sido estimuladas, ou complexas, caso as áreas secundárias ou terciárias do córtex tiverem sofrido o estímulo). A mensagem provoca respostas que interferem no meio: meio e sujeito influenciam-se mutuamente no desenvolvimento, o que significa plasticidade cerebral (Rotta, 2006-b). Nada poderia ser tão condizente com a explicação dialética de Piaget para o processo de conhecimento.

É importante mencionar, ainda, a divisão do córtex feita a partir de suas características citoarquitetônicas. A classificação feita por Brodmann é a mais conhecida. Reproduzimos o mapa citoarquitetônico do córtex cerebral de Brodmann (figuras 1 e 2), que já traz a localização das áreas primárias, secundárias e terciárias (Rotta, 2006).



Figuras 1 e 2 - Áreas do córtex cerebral. Face dorsolateral do hemisfério cerebral (à esquerda) e faces medial e inferior (à direita). As regiões citoarquitetônicas de Brodmann são delimitadas por números e símbolos diferentes. Em cor vermelha: as áreas corticais primárias; em cor amarela: áreas corticais secundárias; em cor azul: áreas de associação terciária.

A denominação das áreas corticais em primárias, secundárias e terciárias parece apropriada tanto no sentido de descrever a ordem com que as informações chegam a elas, mas também para descrever a ordem em que elas aparecem no desenvolvimento cerebral humano. É justamente o aspecto do desenvolvimento do cérebro que abordaremos como forma de fundamentar neurocientificamente a própria noção de estádios do desenvolvimento intelectual proposta por Piaget. Antes, entretanto, vamos completar a revisão do córtex cerebral com a abordagem funcional proposta por Luria.

O cérebro funciona como um todo, no que se refere à cognição e à conduta do indivíduo (Riesgo, 2006). Portanto, as funções cerebrais são executadas por um conjunto de neurônios formando sistemas funcionais (Ohlweiler, 2006). Luria propõe a existência de três unidades funcionais. A primeira unidade fun-

cional ou de vigília é constituída por unidades do tronco encefálico e suas conexões pré-frontais, que regem o ciclo sono-vigília (Riesgo, 2006). Assim, nesta primeira unidade, que completa sua maturação com 12 meses após a concepção, estão envolvidas estruturas subcorticais, que regulam não só o estado mental de sono e vigília como também regulam o tono (Cosenza, 2004). A segunda unidade funcional é a unidade de recepção, análise e armazenamento. Corresponde a toda a porção posterior dos hemisférios cerebrais, atrás do sulco de Rolando, localizando-se no córtex temporal, parietal e occipital. Abrange áreas primárias, secundárias e terciárias (como se vê no mapa de Brodmann, reproduzido acima). A terceira unidade funcional é responsável pela programação, regulação e verificação da atividade. Corresponde a toda a porção anterior dos hemisférios cerebrais, situados frontalmente ao sulco de Rolando. Assim, a terceira unidade “está representada pelos lobos frontais, que possibilitam a intencionalidade, a planificação e a organização da conduta em relação à percepção e ao conhecimento do mundo” (Ohlweiler, 2004. p. 54).

Cosenza (2004) explica que, na unidade receptora (segunda unidade funcional), as informações fluem das áreas primárias para as secundárias e finalmente para a área terciária, localizada na confluência temporoparietal. Na unidade executora (terceira unidade funcional), o fluxo é invertido, indo da área terciária (pré-frontal) para as áreas secundárias e finalmente para a área primária motora.

Desenvolvimento - Visão Psicogenética e Neurológica

Prosseguindo na aproximação entre o conhecimento neurocientífico e o sistema piagetiano, teríamos que, agora, encontrar uma correspondência entre o que se passa em termos de tecido nervoso e as sucessivas mudanças no comportamento cognitivo que caracterizam cada estágio de desenvolvimento descrito por Piaget. Segundo o epistemólogo, “(...) tanto na psicologia como na biologia, a explicação é inseparável do desenvolvimento” (1978. p. 5).

Então, depois de buscar os processos neurobiológicos que corresponderiam aos conceitos de assimilação, acomodação (função) e esquema (estrutura), é preciso abordar a questão da gênese, igualmente central no sistema piagetiano. De fato, como explica Macedo (1994), tal sistema caracteriza uma epistemologia dialética, que considera complementares a interação sujeito-objeto e a relação estrutura-gênese no processo de conhecimento. Considerando a relação estrutura-gênese, a epistemologia dialética estabelece a possibilidade de dar significado ao que as coisas são (sua forma estrutural), bem como a sua história (gênese), de tal modo que a estrutura só se explica por sua gênese ao mesmo tempo em que a gênese só pode ser entendida a partir das estruturas.

Portanto, para o exame a que nos propomos realizar, não basta buscarmos nas neurociências conhecimentos sobre estrutura e funcionamento do cére-

bro. É preciso abordar os aspectos ontogenéticos do SNC. Assim como Piaget recorreu ao estudo da criança para compreender o conhecimento humano em termos de gênese, precisamos abordar o cérebro em evolução. Como o desenvolvimento do cérebro aparece sempre relacionado com a idéia de maturação, cabe retomarmos, em primeiro lugar, de modo um pouco mais detido, a própria noção de maturação.

Maturação

A noção de maturação nervosa é uma das mais fundamentais para se explicar o processo de aprendizagem, o que torna imprescindível, segundo Riesgo (2006), “(...) dominar a seqüência pela qual ocorrem os eventos neuromaturacionais da criança, enquanto cresce, se desenvolve e também aprende” (p. 22).

Rotta (1975) explica que a evolução psicomotora do indivíduo inicia na vida intra-uterina, e a mielinização começa antes do quinto mês de vida, sendo que só termina na idade adulta. A mielinização é um processo de corticalização progressiva que está intimamente ligado às experiências vividas. No desenvolvimento psicomotor há uma relação estreita entre mielinização e função nervosa: à medida que a mielinização se processa, as funções mais elementares, realizadas a partir de sistemas mais primitivos, vão sendo gradativamente inibidas por funções superiores executadas a partir de sistemas mais evoluídos. A relação entre maturação e mielinização fica mais clara quando se concebe que os neurônios (quase totalmente formados até o sétimo mês de vida intra-uterina, e totalmente constituídos até o fim do primeiro ano de vida extra-uterina) só passarão a funcionar a partir da mielinização de seus prolongamentos.

O processo de mielinização dá-se ao longo do tempo, sendo que diferentes neurônios se mielinizam em épocas distintas do desenvolvimento orgânico. Esse fato lembra Romanelli (2003), “fornece embasamento para a compreensão das teorias que descrevem as fases evolutivas da criança, como os estágios de Jean Piaget sobre o nascimento da inteligência; ou as fases do erotismo infantil em Sigmund Freud sobre o amadurecimento afetivo-sexual” (p. 51).

A idéia de interação sujeito-meio como decisiva para o desenvolvimento parece ser inteiramente confirmada pela neuropsicologia do desenvolvimento. Miranda e Muszcat (2004) referem aspectos sociais e culturais como determinantes na modificação das respostas cerebrais nas várias fases do ciclo do desenvolvimento infantil.

Ao destacar os fatores do desenvolvimento, Piaget refere a maturação do sistema nervoso, reputada como uma condição necessária, embora não suficiente, da evolução da inteligência. O fato é que a própria noção de maturação nervosa em sua acepção atual, como estamos vendo, comporta a experiência no meio como um fator decisivo. Vimos que mielinização é um processo de corticalização progressiva que está diretamente ligada às experiências

vivenciadas, de tal modo que o desenvolvimento do córtex é indissociável de tais experiências. Ao pensarmos no conceito de maturação, é preciso, pois, abandonar as concepções deterministas, que excluem o fator ambiental.

De fato, a retrospectiva histórica do conceito de maturação proposta por Romero (2004) permite constatar as transformações por que tem passado esta noção. Se num primeiro momento tal conceito assumia uma conotação biológica e determinista (desenvolvimento regulado por fatores puramente genéticos), ele evoluiu para significados mais abertos, em que o fator ambiental teria um papel importante no desenvolvimento. Como descreve o autor, em algumas abordagens a maturação é equiparada à aquisição de “disposições” ou “disponibilidades”: as mudanças fisiológicas ou internas seriam completadas por fatores externos à pessoa, como a experiência ou a aprendizagem.

Estádios do Desenvolvimento

Ohlweiler (2006, p.55) faz referência à “teoria do desenvolvimento neurológico sequencial”, que leva em conta as modificações anatômicas, funcionais e as habilidades intelectuais de adaptação da criança. Examinando as cinco etapas deste desenvolvimento, podemos acompanhar as mudanças cerebrais que estão em correspondência com os estádios de desenvolvimento propostos por Piaget:

Primeira etapa: desenvolvimento da substância reticular ascendente, que já está em atividade ao nascimento, mas adquire ação plena aos 12 meses de idade.

Segunda etapa: relaciona-se com o desenvolvimento da área motora primária e das áreas sensitivas primárias. As áreas sensitivas se conectam com as motoras, tornando possível uma atividade sensório-motora, que se desenvolve nos dois primeiros anos de vida. *Corresponde ao período sensório-motor de Piaget.*

Terceira etapa: corresponde à maturação funcional das áreas secundárias. A etapa inicia com as anteriores (principalmente aos dois anos), mas se estende até os cinco anos. Como se viu, as áreas secundárias recebem informação das primárias e de estruturas subcorticais, tornando possíveis processos motores e perceptuais complexos. Neste período, inicia o desenvolvimento da linguagem e a lateralização dos hemisférios cerebrais. Seguindo-se à correlação com a descrição piagetiana do desenvolvimento cognitivo, *este período corresponde ao pensamento representativo e de preparação para as operações concretas.*

Quarta etapa: dá-se o desenvolvimento das áreas terciárias da segunda unidade funcional, localizadas na região parietal, permitindo a produção de atividades mentais complexas relacionadas com o nível simbólico e conceitual. *Coincide com o período das operações concretas de Piaget.* O máximo de desenvolvimento desse sistema funcional acontece entre os 5 e os 12 anos de vida.

Quinta etapa: corresponde ao desenvolvimento das áreas da terceira unidade funcional. Esta região pré-frontal, como se viu acima, faz conexões com todas as áreas corticais, o sistema límbico e o tronco encefálico. A autora menciona a controvérsia existente quanto ao início de funcionamento destas áreas, que poderia ser aos

quatro anos ou somente a partir da adolescência. *Tal etapa corresponde ao período das operações formais de Piaget* (Ohlweiler, 2006. p. 55).

Considerações Finais

Em *O nascimento da inteligência na criança*, ao examinar os inícios dos comportamentos inteligentes, Piaget descreve como os comportamentos inatos, próprios dos reflexos (adaptações hereditárias), diferenciam-se pelo próprio funcionamento, dando origem a adaptações não-inatas a que as primeiras se subordinam aos poucos. Isto equivale, segundo ele, ao processo de integração dos reflexos nas atividades corticais. O fato de que o exercício do reflexo supõe uma utilização individual da experiência já coloca estes primeiros comportamentos no domínio do “psicológico”. Isto é, “A Psicologia começa com o exercício deste mecanismo” (Piaget, 1987. p. 48). O domínio do psicológico, entretanto, nunca deixa de ser o domínio do orgânico; e Piaget sempre salientou o caráter orgânico das estruturas mentais. Assim, se no processo de conhecimento há o aspecto psicológico, a ser diferenciado e descrito, há igualmente um aspecto orgânico, neurobiológico, do mesmo processo. Neste trabalho argumentamos no sentido da pertinência de uma aproximação entre a explicação piagetiana, de um lado, e a explicação oferecida pelas neurociências, de outro, para o mesmo processo de conhecimento e de desenvolvimento cognitivo.

Tratando-se de uma primeira aproximação, detivemo-nos em alguns dos conceitos de toda a Epistemologia e Psicologia Genética, para depois buscar no conhecimento da estrutura e do funcionamento do cérebro alguma correspondência neurobiológica com aqueles conceitos.

Em primeiro lugar procuramos explicar em termos neurobiológicos os processos psicológicos de assimilação e acomodação concebidos por Piaget. Aproximamos então essas funções do conhecimento (que garantem o equilíbrio sujeito-meio) da própria atividade neuronal, em que estruturas receptoras recebem a informação do meio, a enviam a regiões específicas do córtex cerebral, processando-a (neurônios associativos), o que resulta numa resposta do organismo enviada ao meio através das estruturas eferentes.

Em seguida, tentamos descrever os processos neurobiológicos que poderiam caracterizar a construção cognitiva, isto é, caracterizar o processo pelo qual o funcionamento de troca acaba resultando na construção de novas estruturas, ausentes no início do desenvolvimento. Nesse ponto, ensaiamos uma explicação neurocientífica para o conceito de “esquema”, noção central na Psicologia Genética, aproximando este conceito do que se sabe a respeito da formação do engrama, que caracteriza uma modificação estrutural do sistema nervoso, decorrente da sinapse, que, por sua vez, caracteriza a conexão entre neurônios decorrente da chegada de um estímulo no processo de trocas com o meio.

As sinapses seriam o registro orgânico da atividade do sujeito sobre o meio. As circunvoluções corticais são as inscrições cerebrais das experiências do sujeito. Assim, examinando o conhecimento sobre córtex cerebral e seu desenvolvimento, verificamos que o desenvolvimento das áreas cerebrais depende de um envolvimento ativo do sujeito em seu meio, confirmando a idéia piagetiana da necessidade da interação para que a construção cognitiva aconteça.

Levando-se em conta que o desenvolvimento neurológico suscita o aspecto da maturação nervosa, procedemos a uma breve discussão da concepção de maturação nas neurociências, verificando que o aspecto ambiental é considerado. A mielinização (os neurônios só passarão a funcionar a partir da mielinização de seus prolongamentos) aparece como um processo de corticalização progressiva que está diretamente ligado às experiências vivenciadas, de tal modo que o desenvolvimento do córtex é indissociável de tais experiências. Tal noção de maturação supera as já ultrapassadas concepções deterministas e se aproxima do paradigma interacionista proposto por Piaget.

Encerramos o texto com o já conhecido paralelo entre, de um lado, os estádios de desenvolvimento definidos por Piaget e, de outro, as etapas do desenvolvimento neurológico, com o progressivo desenvolvimento das diferentes áreas do córtex, também descritas no corpo do trabalho.

Recebido em setembro de 2008 e aprovado em julho de 2009.

Notas

Nota de Agradecimento

Esse trabalho não teria sido possível na ausência de uma interlocução com doutores nas duas áreas que busquei aproximar. Felizmente pude contar com a ajuda de duas autoridades em seus respectivos campos de atuação. Agradeço imensamente à Dra. Newra Rottae ao Dr. Fernando Becker pela competente e dedicada revisão dos conteúdos relativos às neurociências e à Epistemologia Genética.

¹ O termo neurociências se refere ao conjunto de disciplinas que tomam o funcionamento do sistema nervoso como objeto de estudo (Romanelli, 2003). A abordagem do sistema nervoso pode recair sobre aspectos mais anatômicos ou estruturais, ou sobre aspectos mais fisiológicos e neuroquímicos, ou, ainda, sobre as relações entre as organizações cerebrais e as funções cognitivas, entre tantas outras ênfases (Rotta, 2006). Portanto, entre as várias disciplinas que compõem as neurociências, encontram-se a neurologia, a neuropsicologia e diferentes ciências básicas, como a neurobiologia e a neuroquímica. Relacionar conceitos da teoria piagetiana com a estrutura e o funcionamento do sistema nervoso, implica em destacar ora aspectos anatômicos, ora aspectos celulares e bioquímicos, ora aspectos maturacionais, entre outros. Assim, ao longo do texto utilizamos predominantemente o termo neurociências explicação neurocientífica, achados das neurociências) para referir de forma abrangente

e genérica o conjunto de conhecimentos sobre estrutura, funcionamento e desenvolvimento do sistema nervoso. Termos como neurológico ou neurobiológico aparecem com o significado de um aspecto orgânico específico do sistema nervoso. O termo neuropsicologia é usado tanto para referir a disciplina específica, definida na página 2, como para indicar um tipo de abordagem que relaciona funções cognitivas e organizações cerebrais correspondentes.

Referências

- BASTOS, José Alexandre. Discalculia: transtorno específico da habilidade e matemática. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem**: abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 195-206.
- BECKER, Fernando. **Um divisor de águas**. Revista Viver, Mente e Cérebro. Coleção memória da pedagogia, n. 1: Jean Piaget. Rio de Janeiro: Ediouro; São Paulo: Segmento-Duetto, p. 24 a 33, 2005.
- BECKER, Fernando. **Educação e construção do conhecimento**. Porto Alegre: Artmed, 2001.
- COLL, César; GILLIÈRON, Christiane. Jean Piaget: o desenvolvimento da inteligência e a construção do pensamento racional. In: LEITE, Luci Banks. **Piaget e a Escola de Genebra**. São Paulo: Cortez, 1987, p. 23-50.
- COLL, César. Construtivismo e educação: a concepção construtivista do ensino e da aprendizagem. In: COLL, César; MARCHESI, Álvaro; PALACIOS, Jesús. **Desenvolvimento psicológico e educação 2**: Psicologia da Educação Escolar. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 107-127.
- CORSO, Helena Vellinho. Dificuldades de aprendizagem e atrasos maturativos. Atenção aos aspectos neuropsicomotores na avaliação e terapia psicopedagógicas. Revista Psicopedagogia. São Paulo, Revista da Associação Brasileira de Psicopedagogia, 24 (73): 76-89, abril, 2007.
- CORSO, Helena Vellinho. A neuropsicologia esclarecendo as relações entre as dificuldades de aprendizagem e os atrasos maturativos: Estudo Experimental Envolvendo Exame Neurológico e Teste Psicopedagógico. 2007-b. Monografia (Programa de Pós-Graduação em Educação) - Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- COSENZA, Ramon M. Bases estruturais do sistema nervoso. In: ANDRADE, Vivian Maria; SANTOS, Flavia Heloisa; BUENO, Orlando (Org.). **Neuropsicologia Hoje**. São Paulo: Artes Médicas, 2004, p. 37-59.
- KAPLAN-SOLMS, Karen; SOLMS, Mark. **Estudos clínicos em neuro-psicanálise**: Introdução a uma Neuropsicologia Profunda. São Paulo: Lemos Editorial, 2005.
- LOW, Ana Maria Sales. Diagnóstico neurofisiológico no transtorno da atenção. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem**: abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 329- 346.

- MACEDO, Lino de. Epistemologia construtivista de Jean Piaget e psicopedagógica. In: SARGO, Claudete (Org.) et. al. *A práxis psicopedagógica brasileira*. São Paulo: Editora ABPp, 1994, p. 25-44.
- MIRANDA, Mônica C.; MUSZCAT, Mauro. Neuropsicologia do desenvolvimento. In: ANDRADE, Vivian Maria; SANTOS, Flavia Heloísa; BUENO, Orlando (Org.). **Neuropsicologia Hoje**. São Paulo: Artes Médicas, 2004, p. 211-224.
- OHLWEILER, Lygia. Fisiologia e neuroquímica da aprendizagem. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem**: abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2006, p. 43-57.
- PALACIOS, Jesus; MORA, Joaquín. Crescimento físico e desenvolvimento psicomotor até os dois anos na primeira infância. In: COLL, César; MARCHESI, Álvaro; PALACIOS, Jesús. **Desenvolvimento psicológico e educação 1**: Psicologia Evolutiva. Porto Alegre: Artmed, 2004, p.55-70.
- PFEFFER, Arnold Z. Introdução. In: KAPLAN-SOLMS, Karen; SOLMS, Mark. **Estudos clínicos em neuro-psicanálise**: Introdução ao uma Neuropsicologia Profunda. São Paulo: Lemos Editorial, 2005, p. 11-12.
- PIAGET, Jean. **Biologia e conhecimento**. Petrópolis: Vozes, 1973.
- PIAGET, Jean. Prefácio ao Dicionário terminológico de Jean Piaget. In: BATTRO, Antonio. **Dicionário terminológico de Jean Piaget**. São Paulo: Pioneira, 1978, p. 7-8.
- PIAGET, Jean. **Problemas de Psicologia Genética**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1983.
- PIAGET, Jean. **O nascimento da inteligência na criança**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1987.
- PIAGET, Jean; INHELDER, Bärbel. **A psicologia da criança**. São Paulo: Difel, 1986.
- PIAGET, J.; INHELDER, B; Colaboradores [1968]. **Memória e inteligência**. Rio de Janeiro: Artenova, 1979.
- RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z. **Piaget**: modelo e estrutura. São Paulo: Livraria José Olympio, 1972.
- RAMOZZI-CHIAROTTINO, Z. **Em busca do sentido da obra de Jean Piaget**. São Paulo: Ática, 1984.
- REZENDE, J. M. Caminhos da medicina: A neurologia na Antiguidade. **Revista Neuro-Press**. V. 5, n. 1, p. 16-17, 2001. Disponível em <<http://usuarios.cultura.com.br>>. Acesso em: 6 ago. 2009.
- RIESGO, Rudimar dos Santos. Anatomia da aprendizagem. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem** – Abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2006.
- ROMANELLI, Egídio José. **Neuropsicologia aplicada aos distúrbios de aprendizagem “prevenção e terapia”**. Temas em Educação II – Jornadas 2003.
- ROMERO, Juan. Atrasos maturativos e dificuldades na aprendizagem. In: COLL, César; MARCHESI, Álvaro; PALACIOS, Jesús. **Desenvolvimento psicológico e educação 3**: Transtornos do desenvolvimento e necessidades educativas especiais. Porto Alegre: Artmed, 2004, p. 53-71.
- ROTTA, Newra. **Avaliação neurológica evolutiva, eletrencefalográfica e psicológica em crianças com rendimento escolar deficiente**. Tese (livre docência) – Fundação Faculdade Católica de Medicina de Porto Alegre, Porto Alegre, 1975.

ROTTA, Newra. **Curso**: Neurologia para Fonoaudiólogos e Psicopedagogos. Material de aula. Porto Alegre, 2006.

ROTTA, Newra. Plasticidade cerebral e aprendizagem. In: ROTTA, Newra; OHLWEILER, Lygia; RIESGO, Rudimar. **Transtornos da aprendizagem**: Abordagem neurobiológica e multidisciplinar. Porto Alegre: Artmed, 2006-b.

STERNBERG, Robert. J. **Psicologia Cognitiva**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

STERNBERG, Robert. J. **Psicologia Cognitiva**. 4 ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.

WOLPAW, Jonathan R. & CARP, Jonathan S. Plasticity from muscle to brain. Rev. Progress in Neurobiology, New York, Laboratory of Nervous System Disorders, Wadsworth Center, New York State Department of Health and State University of New York, 78. P. 233-263, 2006.

Helena Vellinho Corso é mestra em Educação pelo Programa de Pós-Graduação em Educação da UFRGS. Atualmente integra, como doutoranda bolsista do CNPq, o Programa de Pós-Graduação em Psicologia do Instituto de Psicologia da UFRGS.

E-mail: hvc@brturbo.com.br