

A DINÂMICA DA RELAÇÃO ENTRE ESTRUTURA E FUNÇÃO NO DESENVOLVIMENTO DAS FACULDADES PSICOLÓGICAS SUPERIORES

Carlos Maximiano de Laet Raimundo de Souza¹

Gisele da Silva Rezende da Rosa²

Karoline Cipriano dos Santos³

Resumo: Este artigo, partindo da teoria psicogenética de Piaget e da teoria histórico-cultural de Vygotsky, investiga a relação entre a estrutura do sistema nervoso central e as funções psicológicas superiores, visando observar a existência de eventos críticos que justifiquem saltos qualitativos na capacidade cognitiva da criança, bem como a rigidez de etapas de desenvolvimento. Diante da inexistência dos referidos eventos críticos, concluímos que a interação social, através da apreensão da cultura historicamente construída, representa um fator relevante no desenvolvimento do pensamento abstrato, atuando fisicamente sobre a citoarquitetura do sistema nervoso central e plasmando a evolução cognitiva imprescindível ao raciocínio abstrato, o qual não pode ser alcançado exclusivamente pelo desenvolvimento biológico.

Palavras-chave: gênese do pensamento abstrato, desenvolvimento cognitivo, teoria histórico-cultural.

THE DYNAMICS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN STRUCTURE AND FUNCTION IN THE DEVELOPMENT OF HIGHER PSYCHOLOGICAL FACULTIES

Abstract: This article, starting from Piaget's psychogenetic theory and Vygotsky's historical-cultural theory, investigates the relationship between the structure of the central nervous system and the higher psychological functions, aiming to observe the existence of critical events that justify qualitative jump in the cognitive capacity of the child, as well as the rigidity of development stages. In the absence of such critical events, concludes that social interaction, through the apprehension of the historically constructed culture, represents a relevant factor in the development of abstract thinking, physically acting on the cytoarchitecture of the central nervous system and forming the cognitive evolution essential to abstract reasoning, which cannot be achieved by biological development.

Keywords: genesis of abstract thought, cognitive development, historical cultural theory.

¹ Mestre em Educação pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. E-mail: srmv@terra.com.br.

² Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. Mestra em Educação pela mesma universidade. E-mail: giselesr63@gmail.com

³ Mestra em Educação pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. E-mail: karol.ciprianos@gmail.com

INTRODUÇÃO

Uma recorrente questão interdisciplinar anima o debate acerca da influência da estrutura biológica e do meio ambiente na biologia e nas ciências sociais em geral. Observa-se uma dicotomia entre duas correntes que atribuem a preponderância ao fator biológico ou ao cultural, sendo certo que também existem vertentes moderadas que pretendem conciliar as duas posições sem, contudo, atingirem uma solução efetivamente esclarecedora.

Esta importante questão se reflete na teoria do aprendizado, onde igualmente se constata a existência de uma corrente que atribui a preponderância do elemento biológico e outra que defende a primazia do fator cultural no desenvolvimento cognitivo do ser humano. Neste texto, será utilizada a teoria psicogenética de Piaget como modelo da primeira corrente e a teoria histórico-cultural de Vygotsky como síntese da segunda.

De acordo com a teoria psicogenética de Piaget, o ser humano constrói o conhecimento através da interação entre a sua estrutura biológica e o ambiente. Mas as estruturas biológicas básicas, sensoriais e neurológicas, são entendidas como fatores invariantes que condicionam toda a construção do conhecimento, prevalecendo sobre a ação do ambiente social e sua cultura. O biológico é o fundamento que condiciona as influências ambientais. O processo de desenvolvimento, segundo Piaget, passa por quatro estágios: sensório-motor, pré-operacional, operacional concreto e operacional formal. E por serem fases de um desenvolvimento biológico, são rígidas no que se refere às capacidades de aprendizado. Fases que se sucedem na mesma ordem independente da cultura, pois correspondem a uma realidade natural.

O estágio sensório motor (0 a 2 anos) é o dos reflexos neurológicos básicos, dando início às primeiras construções de esquemas e das noções de tempo e espaço. É uma fase de inteligência prática. Posso voltar aqui e escrever mais um pouco

O estágio pré-operatório (2 a 7 anos) é a fase do egocentrismo, quando a criança está centrada em si mesma. O pensamento da criança é marcado pela

fabulação, tautologia, elisão e contradição. Sua linguagem ainda é mais voltada para si mesma do que para a comunicação com o outro. Como decorrência destas características, a criança ainda não tem a noção da reversibilidade, ou seja, a capacidade de reverter mentalmente um processo de transformação, que constitui a base do pensamento lógico.

O estágio operacional concreto (7 a 11 ou 12 anos) se caracteriza pela noção da reversibilidade das ações e da causalidade. A criança abandona o egocentrismo, começa a estabelecer relações com o outro e a compreender diferentes pontos de vista. Nesta fase, assume uma linguagem social e se utiliza de conceitos obtidos no cotidiano de suas experiências com o mundo. Compreende os fenômenos, mas não sabe explicá-los.

O operatório formal (a partir dos 11 ou 12 anos) é a fase do raciocínio lógico e abstrato, quando o adolescente toma consciência de sua compreensão sobre os fenômenos do mundo. Este estágio se desenvolve até o fim da adolescência. Posso escrever mais um pouco

Naturalmente, Piaget estava plenamente consciente da importância da influência da cultura e do meio social (LA TAYLLE; OLIVEIRA; DANTAS, 1992). O que, entretanto, caracteriza a visão do cientista suíço é a subordinação das capacidades de aprendizado da criança em estágios biológicos rígidos, ou seja, uma vinculação da evolução do aprendizado ao desenvolvimento biológico. Tal compreensão remete ao critério de que não havendo mente sem cérebro, cada fase de desenvolvimento morfológico do sistema nervoso estabelece limites relativamente rígidos para o desenvolvimento cognitivo.

Já Vygotsky entende que a interação social, por meio da cultura historicamente construída, em que a criança se insere, é o fator preponderante do aprendizado. Desta forma, a rigidez das fases evolutivas é substituída por uma flexibilidade própria da ação dialética entre os fatores biológico e cultural. Para o autor soviético, existe uma plasticidade que permite que a criança acesse conhecimentos, através da ajuda de adultos, ou seja, por meio da educação.

Para Vygotsky, a evolução do psiquismo também passa por fases, mas não se trata de uma consequência exclusiva do desenvolvimento neurológico, mas antes

de uma interação muito mais complexa, na qual o aprendizado tem uma função preponderante (VYGOTSKY, 2010). Aprendendo a cultura que a cerca, a criança modifica o seu modelo de pensamento que pode ser exposto na seguinte sequência, que não corresponde às fases concebidas por Piaget, embora guardem estreita relação lógica:

- a) Pensamento pré-sincrético;
- b) Pensamento sincrético;
- c) Pensamento por complexos;
- d) Pensamento por conceitos espontâneos;
- e) Pensamento por conceitos científicos.

No período pré-sincrético, a criança ainda não estabelece vínculos acerca dos elementos que percebe no meio ambiente. Na fase sincrética, estes vínculos são formados conforme critérios subjetivos. A criança reúne elementos distintos de acordo com o que sente e sem maiores compromissos com a realidade objetiva.

O pensamento por complexos já se estrutura por meio de vínculos objetivos, apreendidos da realidade dos fatos observados, mas que não estão ligados por uma estrutura hierárquica. Os complexos abrangem várias modalidades distintas como vínculo associativo, coleção, cadeia, difuso e pseudoconceito. Em todos eles, há uma generalização e unificação de objetos heterogêneos concretos, mas os vínculos permanecem factuais e fortuitos. Corresponde parcialmente à fase pré-operatória de Piaget.

No pensamento por conceito existem vínculos objetivos entre elementos homogêneos que se subordinam hierarquicamente e não meros vínculos factuais de elementos heterogêneos. Nos conceitos, os vínculos são uma relação do geral com o particular e do particular com particular através do geral (VYGOTSKY, 2000). Os conceitos podem ser espontâneos ou científicos. Os primeiros têm muito conteúdo empírico e são aprendidos por meio da experiência cotidiana. Os conceitos científicos têm menor conteúdo empírico e maior abstração. Eles se distinguem dos espontâneos pela tomada de consciência do conceito, ou seja, pela aplicação arbitrária e

consciente do conceito. Uma criança pode compreender o conceito de irmão pela sua vivência, mas se instada a explicar no que consiste a noção de irmão ela não consegue fazê-lo. Os conceitos científicos são aprendidos na escola e partem de explicações adrede concebidas por um vínculo abstrato. Logo a criança toma consciência desta explicação e assumindo a consciência do conceito.

Este é o ponto mais importante do desenvolvimento cognitivo no contexto deste artigo. Trata-se da formação do raciocínio abstrato que é própria do estágio operatório formal concebido por Piaget e da fase do pensamento científico conforme o entendimento de Vygotsky. A questão que se coloca é a causa do aparecimento desta espécie de raciocínio superior no início da adolescência. Enquanto para Piaget ela seria consequência da maturação do sistema nervoso central, para Vygotsky, tratar-se-ia de uma conquista propiciada pelo aprendizado da cultura historicamente construída e que teria na palavra (signo) a base para o seu surgimento.

Verifica-se, portanto, que não há uma rigorosa coincidência entre as etapas concebidas por Piaget e Vygotsky, mas que existe uma similitude, sobretudo no que se refere ao estágio operatório formal e o pensamento científico. A maior divergência entre os autores está na primazia do fator deste desenvolvimento.

A partir da ideia de que o fator biológico é preponderante, necessariamente, as fases de desenvolvimento biológico do sistema nervoso da criança devem a ele vincular a sua evolução cognitiva e a sua capacidade de aprendizado. Por isto, é desafiador investigar o que acontece durante o desenvolvimento do sistema nervoso, visando esclarecer que tipo de evento crítico faz com que as etapas de desenvolvimento se sucedam rigidamente. É necessário que haja uma correspondência entre mudanças morfológicas do sistema nervoso central e os saltos qualitativos da cognição infantil. Se o desenvolvimento do sistema nervoso fosse paulatino e cumulativo, o fator biológico não poderia justificar a existência de etapas rígidas.

Objetivando esclarecer este aspecto, o próximo tópico será dedicado ao estudo do desenvolvimento do sistema nervoso central, desde o início da vida intrauterina até a idade adulta, buscando eventuais eventos críticos que justifiquem saltos qualitativos da cognição.

A MORFOGÊNESE DO SISTEMA NERVOSO

No início da vida embrionária, há apenas células tronco indiferenciadas que se multiplicam rapidamente formando a mórula, a qual migra para o útero, onde receberá a denominação de blástula. Na primeira semana de gravidez a blástula se insere na parede do útero, forma-se a cavidade amniótica e as células se diferenciam em dois folhetos: ectoderma e endoderma. Na passagem da segunda semana para a terceira, ocorre uma invaginação e aparece um terceiro folheto denominado mesoderma. Do ectoderma se formarão a pele e o tecido nervoso, ambos caracterizados pela reação ao meio externo. Do mesoderma surgirá a musculatura e do endoderma os órgãos internos.

O destino natural das células do ectoderma é a evolução para células nervosas, que são os neurônios e os gliócitos. Não obstante, esse processo ocorre apenas na área central do ectoderma, que se transforma no neuroectoderma. Nas outras áreas, as proteínas BMPs bloqueiam o processo de neurulação, produzindo as células do tecido epitelial que formarão a pele. O que permite a formação do tecido nervoso é o bloqueio das proteínas BMPs, isto é, um bloqueio do bloqueio (LENT, 2010).

Na terceira semana da gestação surge a placa neural, que se aprofunda formando o sulco neural. Quando esse sulco se fecha, dá origem ao tubo neural e as cristas neurais. Essas últimas formarão o sistema nervoso periférico, composto por gânglios e nervos que se estenderão por todo o corpo. A partir da formação do tubo neural a multiplicação das células nervosas se intensifica.

Na quarta semana, formam-se três vesículas no tubo neural: o prosencéfalo (área rostral), o mesencéfalo (área central) e o rombencéfalo (área inferior). Essas cavidades se transformam, sendo que o prosencéfalo formará o telencéfalo e diencefalo que comporão o cérebro. O mesencéfalo não passará por muitas transformações, motivo pelo qual manterá o mesmo nome. O rombencéfalo dará origem ao metencéfalo e ao mielencéfalo. O primeiro deles originará o cerebelo e a ponte, enquanto o segundo formará o bulbo (medula oblonga). A parte inferior que se

situa abaixo do mielencéfalo dará origem à medula espinal. O telencéfalo e o diencéfalo são estruturas do cérebro, o mesencéfalo, ponte e bulbo consistem no tronco encefálico, que liga o cérebro à medula espinal. O cerebelo se situa abaixo do lobo occipital.

Na sexta semana de gestação, aparecem os primeiros sinais bioelétricos dos primeiros neurônios, sendo que são apenas impulsos celulares isolados, pois as sinapses ainda não estão formadas. Sem as sinapses, não ocorre a passagem de potenciais de ação, ficando impossibilitada a formação dos circuitos neurais e suas redes. O que se tem até então é uma população de neurônios incomunicáveis, sendo que são necessários milhões de sinapses para formar uma memória simples como a do modo de se atravessar uma rua.

Por volta da oitava semana de gestação, ocorre uma intensa proliferação de células, quando os hemisférios cerebrais já estão se separando. Somente na décima segunda semana se formará o corpo caloso, a estrutura mais importante que ligará os dois hemisférios cerebrais. As sinapses começarão a surgir a partir da décima sexta semana (sinaptogênese), formando os circuitos neurais (KOLB; WHISHAW, 2002).

No quarto ou quinto mês, as principais estruturas anatômicas do sistema nervoso central já estão devidamente constituídas e separadas: cérebro, diencéfalo, cerebelo, mesencéfalo, ponte e bulbo. Não obstante, o córtex cerebral e o cerebelar ainda estão lisos. É nessa fase que o córtex cerebral começa a crescer mais do que a caixa craniana, fazendo-o rolar e dobrar sobre si mesmo, formando os giros, sulcos e a fissura longitudinal que dão aquela aparência peculiar ao cérebro (LENT, 2010). Os dois hemisférios cerebrais são separados pela fissura longitudinal e cada hemisfério se divide em lobos que recebem os nomes conforme os ossos que os recobrem. Os lobos frontais, parietais, temporais e occipitais. Há ainda os lobos insulares, que se localizam em uma dobra mais profunda do telencéfalo. Os dois hemisférios cerebrais estão conectados pelo corpo caloso e têm os mesmos lobos, embora com funções distintas e complementares.

De todas essas estruturas, a que mais nos interessa é o cérebro, que é a sede da inteligência e, portanto da cognição e emoção. Ele é composto do córtex

cerebral externo (substância cinzenta), da substância branca e de núcleos de substância cinzenta localizados profundamente no interior da massa cerebral, que são os núcleos de base. Esses núcleos são também chamados de gânglios de base, malgrado a denominação gânglio, em todos os demais casos, seja reservada para núcleos de neurônios do sistema nervoso periférico.

O córtex cerebral - substância cinzenta – tem uma espessura entre dois a quatro milímetros (TORTORA; DERRICKSON, 2012), contendo em torno de 16 bilhões de neurônios (LENT, 2010), formando o revestimento dos lobos cerebrais. É a sede da cognição, memória, atenção, linguagem, emoção e outras funções que compõem as faculdades psicológicas superiores. O pensamento abstrato não seria possível sem o córtex cerebral. O sistema nervoso central tem cerca de 86 bilhões de neurônios, sendo que o cerebelo é a estrutura que possui maior população neuronal, mas que está destinada a outras funções que não as cognitivas.

A maior parte da massa cerebral é a substância branca, basicamente, constituída de axônios mielinizados e amielínicos, responsáveis pela condução dos impulsos nervosos no mesmo hemisfério, entre os dois hemisférios e para as partes inferiores do sistema nervoso central, tronco encefálico e medula espinal, bem como destas áreas para o cérebro em sentido inverso. É a substância branca que possibilita a comunicação entre as diversas áreas do sistema nervoso central e periférico. Em razão da mielina, a substância branca tem uma cor clara e amarelada que a distingue da substância cinzenta formada pelo córtex.

Neurônios são células capazes de emitir potenciais de ação que codificam pensamentos, emoções, memórias, acionam músculos, ativam glândulas etc. São compostos por um corpo celular (soma), um axônio e um ou vários dendritos. Os axônios conduzem impulsos nervosos e os dendritos os recebem. O contato físico entre os neurônios é interrompido por espaços microscópicos que impedem os axônios de tocarem os dendritos. Entre eles estão as sinapses que podem ser químicas ou elétricas e que possibilitam a transmissão dos impulsos nervosos. Os sinais elétricos emitidos pelos neurônios são a linguagem do sistema nervoso.

Os ramos dos dendritos possuem espinhos ao longo do comprimento que formam contatos sinápticos e exercem importante papel na transmissão dos impulsos

nervosos. Observados pelo microscópio eletrônico, lembram espinhos em torno do caule de uma planta. Constatou-se que esses espinhos têm a característica de se modificarem dinamicamente por influência da aprendizagem (LENT, 2010). Tal fenômeno explicita um vínculo entre a ação do meio ambiente e a constituição física do sistema nervoso central.

Oitenta e seis bilhões de neurônios formam redes denominadas circuitos neurais, podendo-se avaliar em torno de dez mil sinapses por neurônio. Raramente são circuitos simples em que o potencial de ação se transmite em linha de neurônio a neurônio. Existem circuitos divergentes, nos quais um neurônio se comunica com diversos neurônios e circuitos convergentes, em que vários neurônios transmitem seus impulsos para apenas um deles. Há ainda circuitos reverberativos, nos quais o impulso é transmitido pelos últimos neurônios para o primeiro e circuitos paralelos de pós-descarga, em que um neurônio emite o impulso nervoso para um grupo de neurônios que o emite para um neurônio comum.

Enfim, trata-se de uma rede de altíssima complexidade que permite a transmissão dos impulsos. A geometria dos circuitos tem reflexos diretos na compreensão da essência do pensamento e atua como evidência contrária à concepção associacionista. A complexidade das redes é funcional e constituída por uma estrutura geométrica que não reflete meras associações, como se os neurônios se ligassem em séries simples. O próprio desenho dos circuitos nervosos clama por explicações mais complexas para as faculdades psicológicas superiores do que a mera acumulação de vínculos associativos.

Quando a criança nasce, o seu sistema nervoso central já se encontra formado, tanto sob o aspecto anatômico quanto histológico. Na verdade, o recém-nascido tem um excesso de neurônios, circuitos neurais e sinapses que serão seletivamente eliminados no decorrer de seu desenvolvimento ontogenético. No final da gestação, ocorre um grande aumento do número de axônios inter-hemisféricos e, em seguida ao nascimento, inicia-se a eliminação seletiva desses axônios (LENT, 2010). Segundo Izquierdo (2011), é possível que esta eliminação de neurônios e sinapses atue para favorecer o armazenamento das memórias, portanto, influenciando no aprendizado (IZQUIERDO, 2011).

É também, no término da vida uterina e primeiros dias após o nascimento, que se inicia o processo de mielinização nos grandes feixes de fibras do tronco encefálico. Entre um a três meses de vida, a mielinização segue para os feixes do diencefalo e da parte superior do corpo caloso que faz a ligação entre os hemisférios cerebrais. A partir do sexto ou oitavo mês pós-natal, a mielinização alcança a substância branca dos hemisférios cerebrais.

A mielinização prossegue lentamente até o fim da adolescência, quando todas as regiões cerebrais estarão plenamente mielinizadas. A mielina é uma substância composta de lipídios e proteínas que envolve os axônios proporcionando o seu isolamento elétrico e, portanto, aumentando a velocidade no trânsito dos impulsos nervosos. No sistema nervoso central, a bainha de mielina é produzida pelos oligodendrócitos que vão envolvendo o axônio com camadas de mielina. A mielinização incompleta dos recém-nascidos é a causa dos seus estímulos não serem tão rápidos como numa criança mais velha. A mielinização dos axônios, aumentando a velocidade dos potenciais de ação, propiciará uma melhor conectividade entre os neurônios e, conseqüentemente, melhora a qualidade do raciocínio. É como uma mangueira de jardim com perfurações em que uma fita faz a vedação melhorando o fluxo da água (BEAR; CONNORS; PARADISO, 2008).

A mielinização tem sido entendida como o mais importante evento que justificaria um salto de qualidade no desenvolvimento cognitivo. Fuster (2002) considera que a mielinização está estreitamente relacionada ao desenvolvimento neuropsicológico e linguístico. Para este neurocientista, a substância cinzenta atinge o seu volume máximo entre os quatro e doze anos e começa a declinar em seguida. Há uma perda de cerca de 40% das sinapses concomitantemente ao crescimento do volume cortical. A substância branca, que faz a ligação entre as estruturas do sistema nervoso, por intermédio dos axônios, cresce durante a infância e adolescência, continuando até o começo da fase adulta. Este aumento se deve a mielinização dos axônios sendo responsável por aproximadamente 95% da conectividade do neocórtex (FUSTER, 2002).

Um fato que é bastante relevante com relação ao desenvolvimento do sistema nervoso humano consiste na lenta evolução ontogenética do córtex pré-

frontal, responsável pelas funções executivas. Leve-se em conta que a mielinização somente chega ao lobo frontal durante a adolescência. Aliás, o córtex pré-frontal tem uma evolução filogenética recente, sendo certo que, nos humanos, apresenta proporções muito maiores do que nos demais mamíferos.

O córtex pré-frontal subdivide-se em três regiões: orbitofrontal, ventromedial e dorsolateral. As duas primeiras desempenham o controle inibitório de impulsos emocionais e interferências na atenção e estão ligadas ao sistema límbico. Também estão relacionadas à avaliação de riscos e desenvolvem uma função que pode ser entendida como a do Superego. A última, a dorsolateral, com perfil prospectivo, corresponde às funções de ajuste preparatório e memória de trabalho, estando conectada ao corpo estriado e ao córtex do lobo occipital, parietal e temporal (MOURÃO-JÚNIOR; MELO, 2011). A memória de trabalho é um tipo de memória ultrarrápida que permite que a mente retenha informações para dar continuidade à construção do raciocínio e da linguagem. Não é uma memória que armazene dados por meio da formação de circuitos neuronais, mas devido aos neurônios que permanecem emitindo pulsos enquanto o raciocínio está em elaboração, por meio de fenômeno eletrofisiológico e não bioquímico, como ocorre na consolidação da memória (MOURÃO-JÚNIOR; FARIA, 2015).

As funções executivas se caracterizam pela identificação de metas, avaliação de riscos, planejamento de comportamento socialmente adequado, execução de tarefas, correção de erros e monitoramento de desempenho. Abrange a metacognição, tendo em vista que se refere ao conhecimento dos próprios conhecimentos, bem como dos meios de adquiri-los, com evidente repercussão na consciência dos conceitos científicos.

A região orbitofrontal é responsável pela adequação do comportamento conforme o meio social, o que explica as conexões que mantêm com o hipotálamo e demais estruturas do sistema límbico. O clássico caso Phineas Gage, vítima da perfuração de uma barra de ferro que atravessou o seu crânio, destruindo parte de seu lobo pré-frontal, demonstra a importância desta área cortical. O paciente em questão apresentou uma radical mudança de comportamento, embora outras funções não tenham sido alteradas. (referencia) (MOURÃO-JÚNIOR; FARIA, 2015).



O córtex pré-frontal, consiste área executiva do sistema nervoso central, correspondendo a parte principal da terceira unidade (LÚRIA, 1981). Evidentemente, é desnecessário dizer que se trata de uma função essencial para o desenvolvimento do pensamento por conceitos científicos.

ANÁLISE DA ESTRUTURA E FUNÇÃO NO DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

Se é verdade que a mente é um produto do sistema nervoso central, igualmente é certo que a mente tem a propriedade de modificar fisicamente a citoarquitetura neuronal. Trata-se de um autêntico feed back em que a estrutura atua sobre a mente e esta sobre a estrutura. Este fato tem relevância na teoria da aprendizagem, marcada por um intenso debate entre a corrente que atribui a preponderância ao desenvolvimento biológico e a que defende a primazia da interação social.

Sob o foco da neurociência cognitiva, aprender significa adquirir, armazenar, saber evocar memórias e até esquecer-las, tendo em vista a necessidade de otimização das áreas do córtex cerebral e a economia de sinapses. A memória se consolida por meio de modificações bioquímicas abrangendo alterações morfológicas e funcionais. As primeiras consistem na formação de novas espinhas dendríticas, no prolongamento de axônios e na criação de novos circuitos neuronais. As alterações funcionais ocorrem por meio da formação de canais iônicos e proteínas sinalizadoras (MOURÃO-JÚNIOR; FARIA, 2015). Isto significa que o ato de pensar modifica bioquimicamente o cérebro, criando novos circuitos que, por sua vez, possibilitam o desenvolvimento de outros pensamentos que não seriam possíveis anteriormente. Há, portanto, uma fusão dialética dos fatores biológico e mental.

Assim, enquanto a estrutura biológica é condição necessária para o aprendizado, este igualmente atua sobre a estrutura, modificando-a fisicamente. Consolidar memórias, ou seja, aprender, implica em modificações físicas do córtex cerebral, as quais ampliam as condições de aprendizado facilitando a cognição e o armazenamento de novas memórias. Esta relação entre estrutura e mente possibilita uma imensa influência da interação social no desenvolvimento humano e interfere no

debate acerca da preponderância dos fatores biológico ou cultural. Em lugar de um sistema baseado na ideia de que o aprendizado se encontra rigidamente vinculado ao círculo de ferro de etapas de desenvolvimento da estrutura do sistema nervoso, verifica-se que o aprendizado é um fator que modifica esta estrutura. Isto significa que, sem a interação social, o desenvolvimento estrutural fica prejudicado. Sem aprendizado, os circuitos neuronais não se desenvolvem.

A influência da mente sobre a citoarquitetura neuronal, por meio do aprendizado, está sobejamente comprovada, através de técnicas de imageamento. Citarei três pesquisas relevantes para o tema, mas registrando que existem muitas outras que igualmente indicam as mesmas conclusões.

Turkeltaub e seus colaboradores fizeram estudos que demonstraram como o hábito da leitura faz com que se altere a área cortical envolvida no processo em tela. Mostrou que, somente com a automatização da leitura é que o hemisfério esquerdo se especializa nesta função, denotando evidente modificação na circuitaria neuronal provocada pelo aprendizado (TURKELTAUB et al., 2003).

Outra pesquisa recente, realizada por Kochunov e sua equipe, constatou as diferenças das mudanças na citoarquitetura neuronal provocadas em falantes das línguas Inglesa e Chinesa. Nos falantes de Inglês, há uma ativação de uma dada área visual, tendo em vista que a grafia das palavras não corresponde a um padrão fonético uniforme. Nos falantes do Chinês, por força da escrita ideográfica, áreas do lobo parietal destinadas à percepção espacial são ativadas (KOCHUNOV et al., 2003).

Maguire e sua equipe observaram que as dimensões da massa cinzenta do hipocampo posterior, em motoristas de taxi londrinos, é maior do que em outros condutores não profissionais, com idades compatíveis, evidenciando uma modificação induzida pela frequência com que os taxistas lidam com o mapa mental da cidade (MAGUIRE et al., 2000).

Estas são evidências de modificações na circuitaria neuronal e na densidade do córtex em resposta à interação social, ou seja, ao aprendizado.

Evidentemente, o equilíbrio entre estrutura e função se modifica ao longo da vida. No período intrauterino, as estruturas do sistema nervoso central estão sendo constituídas e a primazia do elemento biológico é quase absoluta. Até a décima sexta

semana de vida do feto, as sinapses ainda não existem e, portanto, não há circuitos neurais e nem atividade psíquica, havendo meros sinais bioelétricos isolados, o que impossibilita uma interação entre mente e meio ambiente. Durante toda a gestação, o sistema nervoso central está sendo estruturado e ainda não estão presentes as condições imprescindíveis para o aprendizado. Além disso, o embrião, mesmo quando já estiver com o seu sistema nervoso devidamente estruturado, obviamente, se encontra em ambiente isolado do meio social. Pode-se falar da interação entre o embrião e a mãe, mas tal fenômeno está muito longe de poder ser tomado como um fator de aprendizado.

Quando a criança nasce, o seu sistema nervoso central já está plenamente estruturado, seja no aspecto histológico ou anatômico. Apenas o processo de mielinização dos axônios é que terá de prosseguir ao longo da infância e adolescência, representando o principal elemento biológico ainda incompleto. A eliminação de neurônios e sinapses, logo após o nascimento, igualmente constitui um fator biológico relevante na otimização das redes neuronais.

Há teorias que consideram que, ao nascer, a criança pode ser comparada à metáfora da folha de papel em branco, concebida por Locke, onde os sentidos irão gravar suas informações. Apenas reflexos inatos estão presentes na mente do recém-nascido e é com eles que ele irá experimentar o mundo que o envolve. Então, o aprendizado assume a primazia no desenvolvimento mental, plasmando circuitos neuronais que formarão memórias de longo prazo e as demais faculdades psicológicas superiores. O aprendizado irá modificar materialmente o sistema nervoso que o sustenta, numa relação recíproca. Sem a interação com o ambiente e a consequente neuroplasticidade, o indivíduo permaneceria com uma mente vazia de informações e com faculdades cognitivas apenas em potência. Imagine-se o sistema nervoso central sem receber estímulos dos sentidos. Seria a estrutura biológica sem o aprendizado e, embora produzisse alguma forma de mente, ela estaria quase vazia. Além disso, o desenvolvimento da circuitaria neuronal permaneceria praticamente em estado de potência.

Na etapa do pré-operatório, a criança recebe uma imensa gama de informações, com a qual constrói uma base para estruturar as novas etapas. No

operatório concreto, ela pensa basicamente por complexos e conceitos espontâneos, mas que são adquiridos por meio do aprendizado. Nestas duas fases a interação com o meio social é preponderante, modificando a circuitaria neuronal e atuando materialmente sobre o sistema nervoso central.

Como foi dito anteriormente, o processo de mielinização tem sido apontado como um importante fator biológico que condicionaria o desenvolvimento do raciocínio por conceitos (FUSTER, 2003). Então, o aumento da conectividade seria responsável pelo salto qualitativo do pensamento por complexos para o dos conceitos espontâneos e destes para o pensamento lógico e abstrato. De fato, a região pré-frontal, responsável pela identificação de metas, planejamento, execução de comportamento, monitoramento de desempenho e outras funções executivas, estaria biologicamente imatura, em razão da mielinização dos axônios ainda não ter se completado. Não se pode menosprezar este fator, inclusive porque a mielinização é fundamental na velocidade dos potenciais de ação e a região pré-frontal necessita de eficiente comunicação com o tronco encefálico e com outras áreas corticais. Mas seria a conectividade causa suficiente para o referido salto qualitativo do pensamento por conceitos científicos? A velocidade dos potenciais de ação seria de imensa relevância se adotarmos uma concepção associacionista, com circuitos apenas em linhas contínuas e não com a complexa citoarquitetura das conexões neuronais, divergentes, convergentes e reverberativas. O raciocínio depende muito mais da complexidade do desenho das conexões do que da mera velocidade dos potenciais de ação. De que adianta um sinal passar mais rápido de um neurônio para outro se o circuito não tiver a complexidade necessária? Neste sentido, os estudos de redes neurais artificiais são bastante esclarecedores, na medida em que a sua complexidade é que permite as operações dos computadores (HAYKIN, 2001).

Se a mielinização, produzindo o aumento da velocidade dos estímulos nervosos, bastasse para explicar o salto de qualidade que daria origem às faculdades psicológicas superiores, seria razoável admitir uma preponderância do fator biológico e a conseqüente rigidez de etapas de desenvolvimento. Mas, a neuroplasticidade, redesenhando dinamicamente as bilhões de conexões neuronais, com toda a sua complexidade, é que possibilita o desenvolvimento de formas superiores de

pensamento e o armazenamento do conhecimento produzido em memórias de longa duração. O mero aumento da velocidade de transmissão de mensagens em desenhos neuronais pobres e singelos permitiria apenas a repetição de comportamentos básicos. E nem seria possível o armazenamento do conhecimento. E a neuroplasticidade é dependente do aprendizado e, portanto, da interação social do indivíduo que recebe conceitos historicamente construídos na sociedade em que se insere.

Quando analisamos o potencial cognitivo de pessoas iletradas e mesmo com baixa formação escolar, verificamos que, salvo raríssimas exceções, elas não conseguem pensar por conceitos. São incapazes de conceber definições e quando instadas a fazê-lo, se agarram a exemplos, ou seja, ao concreto. Elas podem compreender a realidade por meio de situações concretas, mas não são capazes de trabalhar com generalizações que envolvam conceitos abstratos, tal como ocorre com as crianças no operatório concreto. O mesmo acontece com os povos primitivos que tendem a pensar por complexos conforme os estudos de Levy-Bruhl. Segundo este autor, o pensamento primitivo é dotado de uma lógica bastante peculiar, fundada na sociabilidade e solidariedade comunitária em lugar de um pensamento lógico baseado em evidências empíricas (LEVY-BRUHL, 1947).

Adultos não letrados ou com pouca educação formal e os homens primitivos já dispõem de toda a mielinização de sua circuitaria neuronal. Por que não pensam com conceitos abstratos? O que não ocorreu no sistema nervoso destas pessoas foi a ação da educação formal que propicia a mudança material desta circuitaria em razão da neuroplasticidade. Circuitos neuronais, prolongamentos axonais e espinhas dendríticas deixaram de se formar e a citoarquitetura do sistema nervoso central não atingiu a complexidade que seria alcançada com o emprego da educação escolar e superior. Pode-se, portanto, reduzir a importância da mielinização no que se refere ao desenvolvimento do raciocínio por conceitos, embora se possa admitir que tal fenômeno tenha a sua cota de influência.

Não fosse a neuroplasticidade, o aprendizado sequer seria possível. Não haveria a reciprocidade entre estrutura e mente e cada pessoa contaria com um dado desenho imutável de redes de circuitos neuronais. Como aprender sem formar novos

circuitos e consolidá-los? Como desenvolver o raciocínio sem que os circuitos sejam plásticos e se aumentem em número e complexidade?

A plasticidade do sistema nervoso central afasta a hipótese de existência de fases rígidas de desenvolvimento cognitivo e possibilita a zona de desenvolvimento imediata defendida por Vygotsky.

O que a criança é capaz de fazer em colaboração conseguirá fazer amanhã sozinha. Por isto, nos parece verossímil a ideia de que a aprendizagem e o desenvolvimento na escola estão na mesma relação entre si que a zona de desenvolvimento imediato e o nível de desenvolvimento atual. Na fase infantil, só é boa aquela aprendizagem que passa à frente do desenvolvimento e o conduz (VYGOTSKY, 2000, p.331).

Com o auxílio do adulto, a criança desenvolve novos circuitos neuronais indo além da sua capacidade fornecida pela sua estrutura biológica. Consegue repetir sozinha a operação mental, pois uma alteração da citoarquitetura de seu córtex foi induzida por meio da aprendizagem proporcionada pelo adulto. O ensino formal, realizado na escola, por meio de professores, apresentando explicações fundadas em conceitos científicos, forma memória semântica, desenvolvendo circuitos neuronais e estimulando o raciocínio abstrato.

Se a mente é uma função da estrutura biológica, ela também influi materialmente nesta estrutura, formando uma relação dialética que não se esgota numa causa e um efeito, mas numa reação constante e recíproca entre estes dois fatores.

Numa visão filogenética, pode-se afirmar que, quanto mais desenvolvida a espécie, maior importância assume o aprendizado. Numa fase evolutiva incipiente, como quando o tronco encefálico representava quase todo o sistema nervoso craniano, o aprendizado tinha uma participação muito menos relevante. Nos animais que dispunham apenas do arquicórtex, a influência da interação social estava bastante limitada, mas, com o surgimento do neocórtex, uma estrutura neuroplástica produz um salto evolutivo que torna o aprendizado preponderante, pelo menos a partir do nascimento.

Na evolução filogenética, este fenômeno – da influência da mente sobre a citoarquitetura do sistema nervoso – é progressivo. Nas formas mais primitivas de

vida, a adaptação do organismo ao meio ambiente depende das propriedades de irritabilidade, condutibilidade e contratilidade, com o sistema nervoso consistindo nas estruturas de sua superfície. Posteriormente, surgiram células especializadas que transformam os estímulos físicos e químicos em estímulos nervosos. Com a evolução, aparecem redes de neurônios e o sistema de coordenação foi centralizado. Surgiram neurônios de associação criando o arco reflexo intersegmentar. Neurônios sensitivos passaram a se ligar a neurônios de associação, que se ligam a neurônios motores e estes ao tecido muscular. Nos anfíbios e répteis, que se aventuraram terra adentro, o sistema nervoso se tornou mais complexo. Surgiram estruturas como o hipocampo (fundamental na formação da memória semântica), hipotálamo, corpo estriado, estruturas olfatórias, amígdala e tronco encefálico. Com os mamíferos, apareceu o neocórtex e os lobos frontais se desenvolvem. Nos humanos, o lobo frontal aumentou e possibilitaram as funções executivas e a consciência (RIBAS, 2006). Neste processo evolutivo, a neuroplasticidade se desenvolve, possibilitando que a mente como função da estrutura, cada vez mais, atue sobre esta estrutura, criando uma “intencionalidade” no processo evolutivo.

Na perspectiva positivista, pode-se observar uma tendência a conceber a mente como mero produto da estrutura e uma redução dos processos psíquicos à relação estímulo resposta. Esta interpretação parece bastante adequada aos sistemas nervosos mais primitivos, mas ela tende a se complexificar no processo evolutivo, desenvolvendo a neuroplasticidade e a conseqüente influência da mente sobre a estrutura. Fases rígidas de desenvolvimento cognitivo parecem adequadas somente quando o psiquismo não atua sobre a estrutura ou o faz de forma pouco significativa. O desenvolvimento filogenético do sistema nervoso torna a relação entre estrutura e função cada vez mais recíproca e dinâmica e permite que a cultura, construída ao longo de milênios de história, seja aprendida por cada ser humano, criando uma dimensão que extrapola à rigidez do condicionamento biológico.

REFERÊNCIAS

- BEAR, Mark; CONNORS, Barry W.; PARADISO, Michael A. **Neurociências: desenvolvendo o sistema nervosa**. 3º ed. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- FUSTER, Joaquín M. Frontal lobe and cognitive development. **Journal of Neurocytology**, Londres, v. 31, p. 373-385, 2002. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12815254>. Acesso em: 06 maio 2019.
- HAYKIN, Simon. **Redes neurais: princípios e práticas**. 2. ed. São Paulo: Bookman, 2001.
- IZQUIERDO, Ivan. **Memória**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- KOCHUNOV, P. *et al.* Localized morphological brain differences between English-speaking Caucasians and Chinese-speaking Asians: new evidence of anatomical plasticity. **Developmental neuroscience, Basel**, v. 14, n. 7, p. 961-964, 2003. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/d9ba/2b255be43bd531cedc25e550e701406595d6.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.
- KOLB, Bryan; WHISHAW, Ian Q. **Neurociência do comportamento**. Barueri, SP: Manole, 2002.
- LA TAILLE, Yves de; OLIVEIRA, Marta Kohl de; DANTAS, Heloysa de Lima. **Piaget, Vygotsky, Wallon: teorias psicogenéticas em discussão**. 2. ed. São Paulo: Summus, 1992.
- LENT, Roberto. **Cem bilhões de neurônios?: conceitos fundamentais de neurociências**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2010.
- LÉVY-BRUHL. *La mentalité primitive*. Presses Universitaires de France, 1947.
- LÚRIA, Aleksandr Romanovich. **Fundamentos de neuropsicologia**. São Paulo: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1981.
- MELO, Luciene Bandeira Rodrigues. **Memória de trabalho e função executiva: uma proposta de diálogo entre dois modelos teóricos**. 79f. 2011. Dissertação (mestrado em psicologia). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/2491/1/lucienebandeirarodriguesdemelo.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.
- MAGUIRE, E. A. *et al.* Navigation expertise and the human hippocampus: a structural brain imaging analysis. **Hippocampus**, Nova York, v. 13, n. 2, p. 250-259,

2000. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/hipo.10087>. Acesso em: 06 maio 2019.

MOURÃO-JÚNIOR, Carlos Alberto; MELO, Luciene Bandeira Rodrigues. Integração de três conceitos: função executiva, memória de trabalho e aprendizado.

Psicologia: Teoria e Pesquisa, Brasília, v. 27, n.3, p. 309-314, jul./set. 2011.

Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ptp/v27n3/06.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.

MOURÃO-JÚNIOR, C. A.; FARIA, N. C. Memória. **Psicologia: Reflexões e Crítica**, Porto Alegre, v. 28, n. 4, p.780 - 788, 2015. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/prc/v28n4/0102-7972-prc-28-04-00780.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.

REED, Umbertina Conti. Desenvolvimento normal do sistema nervoso central. In: NITRINI, Ricardo; BACHESCHI, Luiz Alberto. **A neurologia que todo médico deve saber**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2005, p. 395-400.

RIBAS, Guilherme Carvalhal. Considerações sobre a evolução filogenética do sistema nervoso, o comportamento e a emergência da consciência. **Revista Brasileira de Psiquiatria**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 326-333, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbp/v28n4/12.pdf>. Acesso em: 06 maio 2019.

TURKELTAUB, P.E. *et al.* Development of neural mechanisms for reading. **Nature Neuroscience**, Nova York, v. 6, n. 7, p. 767-773, jul. 2003. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nn1065>. Acesso em: 06 maio 2019.

TORTORA, Gerald J.; DERRICKSON, Bryan. **Princípios de anatomia e fisiologia**. 12. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2012.

VYGOTSKY, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2000.

VYGOTSKY, Lev. S. Aprendizagem e desenvolvimento na Idade Escolar. In: VIGOSTKY, L. LURIA, A. LEONTIEV, A.N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. 11. ed. São Paulo: Ícone, 2010, p. 103-116.

Recebido setembro de 2022

Aprovado janeiro de 2023.