

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Instituto de Ciências Biológicas**  
**Curso de Especialização em Neurociências e Comportamento**

**Cássia Aparecida de Souza França**

**FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DO**  
**ENSINO E DA APRENDIZAGEM**

**Belo Horizonte**  
**2005**

**Cássia Aparecida de Souza França**

**FUNDAMENTOS NEUROBIOLÓGICOS DO  
ENSINO E DA APRENDIZAGEM**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Neurociências & Comportamento do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientação: Prof.(a) Leonor Bezerra Guerra.

**Belo Horizonte  
2005**

043

França, Cássia Aparecida de Souza.

Fundamentos neurobiológicos do ensino e da aprendizagem [manuscrito] /  
Cássia Aparecida de Souza França. – 2005.  
94 f.: il. ; 29,5 cm.

Orientação: Prof.(a) Leonor Bezerra Guerra.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Neurociências &  
Comportamento do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de  
Minas Gerais.

1. Neurociências. 2. Educação. 3. Ensino. 4. Aprendizagem. 5. Sistema Nervoso. I.  
Guerra, Leonor Bezerra. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de  
Ciências Biológicas. III. Título.

CDU:612.8



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM NEUROCIÊNCIAS

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Fundamentos Neurobiológicos do Ensino Aprendizagem

Cássia Aparecida de Souza França

Monografia defendida e aprovada, no dia **10/12/2005**, pela Banca Examinadora designada pelo Coordenação do curso de Especialização em Neurociências da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Profa. Leonor Bezerra Guerra - Orientadora

**UFMG**

Prof. Rodrigo Nicolato

**UFMG**

Belo Horizonte, 18 de julho de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Victor Rodrigues Santos, Coordenador**, em 18/07/2024, às 17:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3391759** e o código CRC **02D1AACD**.

Referência: Processo nº 23072.227235/2024-84

Dedico este trabalho a todos aqueles que já descobriram o prazer de partilhar o que aprenderam, pois só quando partilhamos é que começamos a aprender de verdade.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus – a vida com todas as suas oportunidades – e àqueles que, como Ermance, o representam junto de mim; ao meu marido, companheiro de todas as horas e situações; aos filhos amados – a alegria de viver; à minha mãe, que me ensinou o gosto pelos livros; ao meu irmão, que, sem o saber, também motivou este trabalho; ao Eduardo e à “Di” – o voto de confiança; aos professores do curso, especialmente Leonor, muito mais do que uma orientadora; aos colegas da turma – a solidariedade; às companheiras e companheiros do ambiente de trabalho, que tanto me ouviram e estimularam com paciência; e, finalmente, à Cristina Angélica – toda a ajuda – e a todos os amigos do coração.

“Por isso é que agora vou assim no meu caminho.

Publicamente andando.

**Não, não tenho caminho novo.**

**O que tenho de novo**

**é o jeito de caminhar.**

Aprendi (o que o caminho me ensinou)  
a caminhar cantando como convém a mim  
e aos que vão comigo.

Pois já não vou mais sozinho”

Thiago de Melo

## RESUMO

A educação é a formação do indivíduo através do processo ensino-aprendizagem, que possibilita a aquisição de novos comportamentos, potencialmente transformadores do viver do indivíduo. Os estudos das neurociências são de grande relevância para a educação, pois todo comportamento humano requer o sistema nervoso como substrato biológico. Este trabalho, realizado por meio de uma revisão bibliográfica, apresenta alguns fundamentos neurobiológicos do processo ensino-aprendizagem – a estrutura morfológica e funcional do sistema nervoso, os períodos receptivos do desenvolvimento, a influência de fatores genéticos e ambientais, o fenômeno de neuroplasticidade e alguns aspectos da cognição humana. O conhecimento desses fundamentos suscita a reflexão, ainda que incipiente, sobre a validade das teorias de Piaget e Vygotsky e sobre fatores que interferem na aprendizagem bem como aqueles que contribuiriam para maior eficácia do trabalho no âmbito da educação, sugerindo a necessidade de se pensar na educação para a vida.

Palavras-chave: ensino-aprendizagem, sistema nervoso, Piaget, Vygotsky



## **ABSTRACT**

Education is the development of an individual through the process of teaching and learning, which makes possible the acquisition of new behaviors, potentially transforming one's life. The studies on neurosciences have great relevance for education, as all human behavior requires the nervous system as biological substratum. This work, carried through a bibliographical review, presents some neurobiological basis of the teaching-learning process - the morphological and functional structure of the nervous system, the receptive periods of the development, the influence of genetic and environmental factors, the phenomenon of neuroplasticity and some aspects of the human cognition. The knowledge of these fundamentals excites the reflection, even though incipient, on the validity of Piaget's and Vygotsky's theories and on factors that influence learning as well as those that would contribute for better effectiveness of the work in the scope of education, suggesting the necessity of thinking about education as the individual development for living.

Keywords: teaching-learning, nervous system, Piaget, Vygotsky

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – SNP e SNC .....	17
QUADRO 1 - Divisão embriológica/anatômica do sistema nervoso .....	18
FIGURA 2- Visão Lateral dos lobos, frontal, parietal, occipital e temporal do hemisfério esquerdo do cérebro .....	20
FIGURA 3- Localização do tronco encefálico .....	22
FIGURA 4 - O cerebelo .....	24
FIGURA 5- Os ventrículos .....	25
FIGURA 6 - O sistema límbico .....	26
FIGURA 7 - O neurônio .....	29
FIGURA 8 - Sinapse .....	36

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 OBJETIVOS .....	15
1.1.1 OBJETIVO GERAL .....	15
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.2 MÉTODO .....	17
<b>2 O CÉREBRO: ESTRUTURA E FUNÇÕES</b> .....	<b>18</b>
2.1 ESTRUTURA ANATÔMICA .....	19
2.1.1 SISTEMA NERVOSO CENTRAL .....	20
2.1.1.1 O cérebro .....	20
2.1.1.2 O tronco encefálico .....	23
2.1.1.3 O cerebelo.....	25
2.1.1.4 Os ventrículos cerebrais.....	26
2.1.1.5 O sistema límbico.....	27
2.1.1.6 A medula espinhal.....	29
2.1.2 SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO .....	29
2.2 O TECIDO NERVOSO .....	30
2.2.1 O NEURÔNIO .....	30
2.2.2 OS GLIÓCITOS, CÉLULAS DA GLIA OU NEURÓGLIA .....	33
<b>3 A ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL DO CÉREBRO</b> .....	<b>35</b>
3.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO FUNCIONAMENTO CEREBRAL .....	35
3.2 AS SINAPSES: NEUROTRANSMISSORES E RECEPTORES. ....	37
3.3 O FUNCIONAMENTO DAS GRANDES ESTRUTURAS CEREBRAIS.....	41
3.3.1 TRONCO ENCEFÁLICO, NERVOS CRANIANOS E CEREBELO .....	42
3.3.2 A COMPLEXIDADE DO FUNCIONAMENTO DO PROSENCÉFALO: DIENCÉFALO E TELENCEFALO .....	43
3.3.3 O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA LÍMBICO .....	47
3.3.4 ESPECIALIZAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS.....	48
<b>4 DESENVOLVIMENTO CEREBRAL E NEUROPLASTICIDADE</b> .....	<b>51</b>
4.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA NERVOSO .....	51
4.2 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO CEREBRAL .....	51
4.3 NEUROPLASTICIDADE .....	55
4.4 PERÍODO RECEPTIVO .....	57
<b>5 INTRODUÇÃO A ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FUNÇÕES DO CÓRTEX CEREBRAL</b> .....	<b>60</b>
5.1 SENSAÇÃO E PERCEPÇÃO .....	60
5.2 ATENÇÃO.....	61
5.3 COGNIÇÃO .....	62
5.4 INTELIGÊNCIA .....	63
5.5 MOTIVAÇÃO .....	65
5.6 EMOÇÃO .....	66
5.7 PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO E SIGNIFICADO .....	68

<b>6 APRENDIZAGEM E MEMÓRIA.....</b>	<b>69</b>
<b>7 PIAGET E VYGOTSKY DIANTE DAS NEUROCIÊNCIAS .....</b>	<b>75</b>
<b>8 NEUROCIÊNCIAS: IMPLICAÇÕES PARA A EDUCAÇÃO .....</b>	<b>79</b>
<b>9 CONCLUSÃO .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ciência e as técnicas de investigação científica, de um modo geral, tiveram grandes avanços desde o final do século XIX e, especialmente, na segunda metade do século XX – notadamente, em relação ao sistema nervoso, a partir da década de 90 (GEAKE, 2003). Com isso, inúmeros trabalhos nas áreas das neurociências foram publicados, apresentando novos conhecimentos sobre o cérebro e sobre o comportamento. Estudos de neuroimagem possibilitaram observar a ativação cerebral durante comportamentos variados em diversas circunstâncias (OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004). Os resultados iniciais ocasionaram interpretações extremas e levaram a conclusões precipitadas. Entretanto, as pesquisas persistem e ponderações vêm delimitando considerações e conclusões mais seguras para a compreensão dos mecanismos neurais subjacentes aos comportamentos (GEAKE, 2003).

O diálogo das neurociências com as outras áreas do conhecimento, em especial a educação, só agora começa a ser incrementado. Muito se tem debatido sobre a necessidade de se produzir conhecimentos transdisciplinares, mas ainda há muitas dúvidas sobre os limites dessa interação (GEAKE, 2003).

Esta monografia pretende apresentar alguns aspectos abordados pelas neurociências que podem ser de interesse da educação, especialmente para aqueles que ainda não se posicionaram em um dos campos diametralmente opostos de que falam Geake e Cooper (2003): o campo daqueles que consideram que as neurociências devem manter “seu nariz” bem longe dos assuntos educacionais e o daqueles que, arrastados pelo entusiasmo, crêem na aliança definitiva entre as duas áreas.

Certamente, como enfatiza Geake (2003), cabe aos educadores se engajarem ativamente nos debates, interferindo de modo direto na definição de temas a serem pesquisados, uma vez que são eles os detentores da prática educacional. Aos neurocientistas, por sua vez, cabe o papel de estruturar e viabilizar as investigações.

Aqui, o que se pretende é exatamente despertar nos educadores o interesse pelos resultados obtidos nos estudos desenvolvidos pelas neurociências, levando-os a produzir sua própria análise e reflexão, bem como uma avaliação da própria prática e do sistema educacional.

Para isso, faz-se uma abordagem prévia sobre a constituição, a estruturação e o funcionamento dos sistemas nervosos central e periférico (SNC e SNP). Trata-se, a seguir, do desenvolvimento ontogenético do cérebro, de fatores genéticos e ambientais que podem influenciar esse desenvolvimento, de plasticidade cerebral e de períodos receptivos. Para compreensão do processo de aprendizagem, é feita breve digressão sobre conceitos bem específicos: sensação e percepção, atenção, cognição, inteligência, motivação e emoção. Descrevem-se sucintamente os mecanismos de memória e aprendizagem e fatores que interferem nesses processos. Apresenta-se uma análise sobre as teorias de Piaget e Vygotsky sob o ponto de vista de estudos recentes. Propõe-se, a partir daí, uma reflexão sobre considerações fundamentais do ponto de vista das neurociências para maior eficácia dos métodos ou sistemas de ensino e dos currículos, com suas disciplinas e objetivos a serem trabalhados, bem como sobre a postura frente a dificuldades e transtornos de aprendizagem. Finalizando, enfatiza-se a necessidade de se tratar a educação para além dos muros da escola, no lar e no ambiente social mais amplo, ou seja, para a vida.

Em síntese, neste trabalho espera-se construir uma aproximação entre a educação e as neurociências com finalidades práticas, ainda que de maneira incipiente.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Busca-se neste trabalho, a partir de uma revisão bibliográfica, mas com finalidades práticas, levantar contribuições que a educação pode obter a partir dos estudos das neurociências com vistas à melhoria e maior eficiência do processo ensino-aprendizagem.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1º) Estabelecer uma aproximação do educador/pedagogo, com os fundamentos neurobiológicos do processo ensino-aprendizagem, através da apropriação, pelo educador, da linguagem neurobiológica, uma vez que tal fundamentação e linguagem não fazem parte de sua formação básica. E se

constituem em elementos fundamentais para o estabelecimento da interface neurociência/educação.

2º) Apresentar aspectos da constituição, estruturação e funcionamento dos sistemas nervosos central e periférico (SNC e SNP).

3º) Descrever, de forma sucinta, o desenvolvimento ontogenético do cérebro, a coexistência de fatores genéticos e ambientais que o influenciam e o fenômeno da plasticidade cerebral (neuroplasticidade), definindo-se período receptivo.

4º) Conceituar: sensação e percepção, atenção, cognição, inteligência, motivação, emoção e significado

5º) Descrever mecanismos de aprendizagem e memória e alguns fatores que interferem nesses processos.

6º) Apresentar breve análise das teorias de Piaget e Vygotsky sob o ponto de vista da neurobiologia.

7º) Apontar considerações fundamentais do ponto de vista das neurociências para maior eficácia dos métodos ou sistemas de ensino e dos currículos bem como para a postura frente a dificuldades e transtornos de aprendizagem.

8º) Fundamentar a necessidade de se tratar a educação para além dos muros da escola, no lar e no ambiente social mais amplo, ou seja, para a vida.



## 1.2 MÉTODO

Este trabalho monográfico é resultado de uma revisão da literatura seguida de reflexão sobre a interface entre duas áreas do conhecimento: neurociências e educação. A revisão da literatura foi realizada utilizando artigos obtidos pela pesquisa bibliográfica no PubMed/Medline e LILACS, tendo como referência combinações diversas das palavras-chave: aprendizagem, memória, neurobiologia, cognição, cérebro. Não houve limitação sistemática do período de publicação. Ainda foram utilizados livros, artigos originais e de revisão, artigos e revistas, indexadas ou não, disponíveis na Internet (ferramentas de busca: [www.google.com](http://www.google.com) e [www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com)), trabalhos apresentados em simpósios e artigos de revistas de divulgação científica.

O método utilizado reflete as características do processo de estabelecimento de interface entre áreas do conhecimento tradicionalmente distintas: neste caso, o pedagogo, sem formação básica em neurobiologia, que busca compreender a educação sob a perspectiva da neurociência. Daí a presença, na revisão de literatura, de fontes de divulgação científica, analisadas criticamente através da consulta às referências originais e autores de reconhecido rigor científico.

## 2 O CÉREBRO: ESTRUTURA E FUNÇÕES

O papel do nosso cérebro, a princípio, seria orientar e direcionar o corpo para produzir comportamento (respostas). Mas, segundo Kolb e Whishaw (2002), ele tem três funções: produzir o comportamento, criar o mundo sensorial e integrar esses dois produtos. Cada uma exige um sistema com estruturas específicas. Para produzir comportamentos adequados, ele precisa de informações sobre o mundo, sobre os objetos ao redor (tamanho, formato, movimento...). Uma vez tendo recebido tais informações, ele as converte, juntamente com todo o sistema nervoso, em atividade biológica, capaz de produzir experiências subjetivas da realidade, essenciais para a execução de qualquer tarefa. A realidade é assim uma criação do cérebro, produzida por reações em cadeia, ou seja, uma realidade sensorial. Por isso cada indivíduo vive a experiência de forma diferente (os objetos e as cores que vemos ou os sons que ouvimos, por exemplo, não os vemos e ouvimos da mesma forma que outras espécies ou mesmo que outros indivíduos de nossa espécie). E, ainda segundo esses autores, o cérebro deve possuir um sistema de processamento de estímulos singular, que acumula, integra e utiliza o conhecimento para compará-lo com conhecimentos adquiridos de outros domínios sensoriais ou em outros momentos, criando um novo conhecimento integrador.

## 2.1 ESTRUTURA ANATÔMICA

O sistema nervoso é tradicionalmente dividido em sistema nervoso central (SNC) e sistema nervoso periférico (SNP). O SNC abrange tudo o que está contido dentro do crânio – o **encéfalo**: cérebro, cerebelo e tronco encefálico – e dentro da coluna vertebral – a **medula espinhal**. Já o SNP é composto por todas as **fibras nervosas** que irradiam do encéfalo (nervos cranianos) e da medula espinhal (nervos expinhais) e ainda por todos os **neurônios** externos ao SNC. A fibra nervosa é o prolongamento de um neurônio – o axônio – que conduz e transmite as informações para outros neurônios, e nervos são feixes de fibras nervosas (FIG.1).

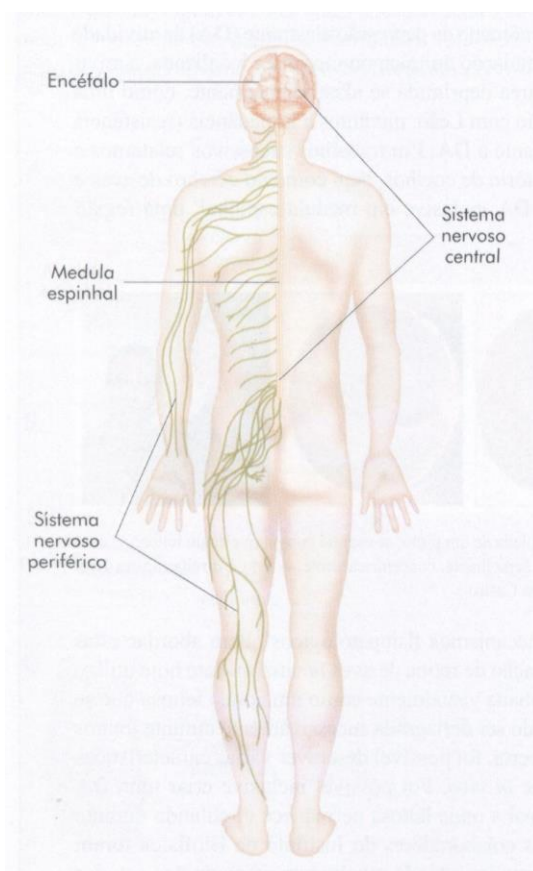


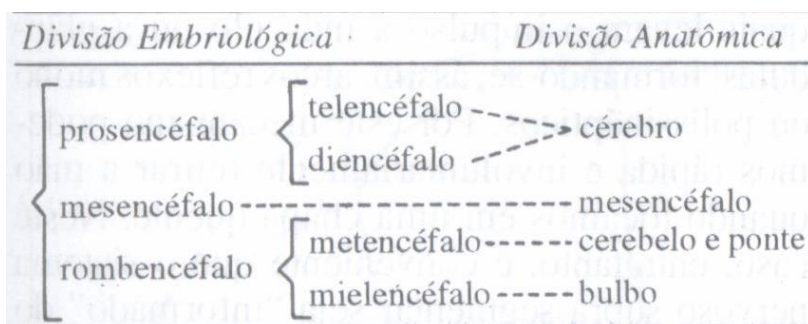
FIGURA 1 - SNC e SNP  
Fonte: LENT, 2005, p. 5.

## 2.1.1 SISTEMA NERVOSO CENTRAL

### 2.1.1.1 O cérebro

O SNC se desenvolve no embrião a partir de uma estrutura tubular que origina o prosencéfalo, o mesencéfalo e o rombencéfalo. Estes, ao final do desenvolvimento embrionário, originarão o cérebro (telencéfalo e diencefalo), o cerebelo, o tronco encefálico (bulbo, ponte e mesencéfalo) e a medula espinhal (QUADRO 1).

QUADRO 1  
Divisão embriológica/anatômica do sistema nervoso



Fonte: MACHADO, 2005, p. 13.

Feita uma abertura na caixa craniana, observa-se o **cérebro**. Ele se subdivide em telencéfalo (mais desenvolvido no sentido lateral e posterior) e diencefalo (posição mais mediana). Embora a aparente fragilidade cerebral, Lent (2004) afirma que o Sistema Nervoso Central é protegido com segurança máxima

contra abalos mecânicos e químicos indesejáveis. Ao dizer assim, ele se refere, em parte, ao envoltório que recobre toda a superfície do encéfalo, constituído por três membranas sobrepostas, as **meninges**: a dura-máter, a aracnóide e a pia-máter. Entre as duas últimas, mais internas, há um líquido (líquido cefalorraquidiano ou líquor) que banha o encéfalo e a medula espinhal.

Removidas as meninges, vê-se o **telencéfalo**. Ele é organizado em dois hemisférios cerebrais, dos quais destaca-se a camada mais externa, o córtex cerebral. O **córtex cerebral** humano é todo constituído de corpos de neurônios – **substância cinzenta** – e é consideravelmente grande. Por isso, para se ajustar ao tamanho do crânio, apresenta-se repleto de dobras, que formam sulcos e giros em cada hemisfério. Há uma grande fissura que separa os dois hemisférios, a **fissura longitudinal**, mas, em contrapartida, há uma larga estrutura que os liga. De acordo com Kolb e Whishaw (2002), essa estrutura possui cerca de 200 milhões de fibras nervosas, que formam a mais proeminente conexão entre os hemisférios, o **corpo caloso**, com um papel fundamental na troca de informações entre eles.

Em cada um dos hemisférios, o córtex cerebral é dividido em áreas chamadas lobos (FIG.2). O **lobo frontal**, na região anterior, delimita-se pelo sulco central e pela fissura lateral. Abaixo da fissura lateral, na região ântero-lateral está o **lobo temporal**. Na face dorso-lateral do cérebro – após o sulco central e acima do lobo temporal – está o lobo parietal. O **lobo occipital** ocupa a região ínfero-posterior, sendo delimitado pela incisura pré-occipital, que o separa do lobo temporal, e pelo sulco parieto-occipital, que o separa do **lobo parietal**. E, encoberto pelos três últimos lobos citados, o **lobo da ínsula**, situado profundamente no sulco lateral (MACHADO, 2005).

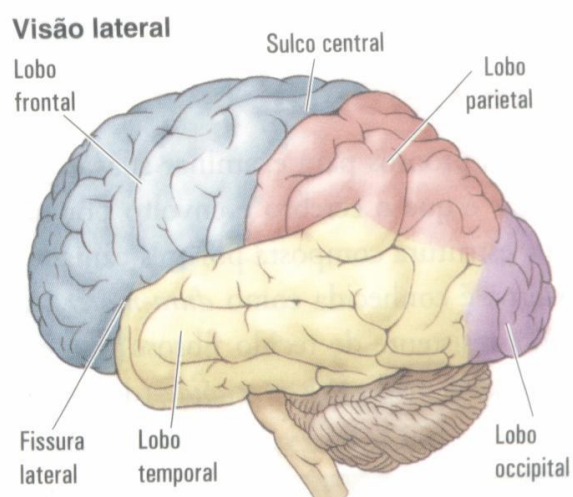


FIGURA 2 - Visão Lateral dos lobos frontal, parietal, occipital e temporal do hemisfério esquerdo do cérebro.

Fonte: KOLB e WHISHAW, 2002, p. 42.

Há dois tipos de córtex: o neocórtex e o córtex límbico. O **neocórtex** é de evolução recente e, além de integrar o cérebro humano, só ocorre em mamíferos. Tem uma área de 2.500 cm<sup>2</sup> e espessura de apenas 1,5 a 3,0 mm. (KOLB e WHISHAW, 2002). Com relação ao **córtex límbico**, este é mais primitivo e faz parte do sistema límbico, que abordaremos mais adiante. O córtex cerebral se conecta a praticamente todas as outras estruturas do encéfalo. Além do córtex cerebral, no telencéfalo, em cada hemisfério, há ainda um centro de substância branca e os núcleos da base. A **substância branca** é constituída predominantemente por axônios, principais prolongamentos dos neurônios. No interior dessa substância existem massas de substância cinzenta (grupos de corpos de neurônios), formando os núcleos da base. Os principais **núcleos da base** são o núcleo caudado, o putâmen e o globo pálido. Os três formam o estriado, que recebe conexões de várias áreas do córtex, enviando-lhes de volta inúmeras fibras, principalmente para o córtex

frontal. Convencionalmente se denominam todas as regiões abaixo do neocórtex como subcorticais.

Na parte mais medial do cérebro está o **diencefalo**, quase totalmente encoberto pelo telencefalo. O diencefalo apresenta entre as suas estruturas mais importantes o tálamo e o hipotálamo. Os **tálamos** são duas massas ovais na porção látero-dorsal do diencefalo, uma em cada hemisfério, feitas de substância cinzenta. Segundo Gazzaniga e Heatherton (2005), aí está o portão de entrada para o prosencefalo. Isso porque a maioria das informações sensoriais passará pelos tálamos antes de atingir o córtex cerebral.

Na face ventral dos tálamos tem-se o **hipotálamo**. Essa é uma região constituída de grupamentos neuronais, ou núcleos hipotalâmicos, localizados bilateralmente, ocupando uma área pequena do diencefalo, mas com relevantes funções para a homeostase ou equilíbrio visceral do organismo (Machado, 2005).

A **hipófise**, uma importante glândula endócrina, também se encontra no diencefalo. Suas secreções controlam a atividade de muitas outras glândulas e está associada ao ritmo biológico (Machado, 2005).

#### **2.1.1.2 O tronco encefálico**

Situado caudalmente ou abaixo do diencefalo está o tronco encefálico (FIG.3). Divide-se em mesencefalo, ponte e bulbo (também chamado medula oblonga). O **tronco encefálico** é constituído de substância cinzenta – os núcleos do tronco encefálico, associados ou não a nervos cranianos – e de substância branca –

organizada em uma rede de axônios (MACHADO, 2005). Observa-se ainda, ao longo do tronco, integrando desde o mesencéfalo até o bulbo, a substância ou formação reticular. Esta é composta por neurônios e pela respectiva rede de axônios e se apresenta contendo o sistema ativador reticular ascendente – SARA – além de núcleos importantes para a regulação do sono e vigília e funções viscerais vitais como respiração e funcionamento cardíaco (KOLB e WHISHAW, 2002; MACHADO, 2005).

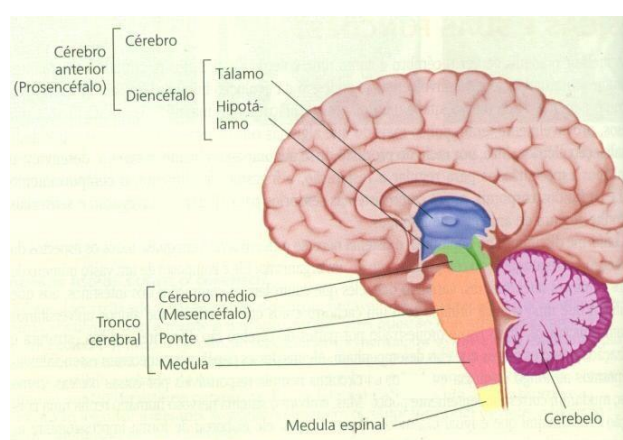


FIGURA 3 - Localização do tronco encefálico no SNC  
Fonte: GAZZANIGA e HEATHERTON 2005, p. 128.

O **mesencéfalo** é a continuação do diencéfalo saindo do cérebro, ou seja, situa-se caudalmente ao diencéfalo. É atravessado por um estreito canal, o aqueduto cerebral, que une o terceiro e o quarto ventrículos, sobre os quais falaremos adiante. Sua parte dorsal recebe o nome de teto mesencefálico e corresponde a um centro orientador que contém um mapa topográfico do espaço, envolvido com reflexos e movimentos oculares e de cabeça e pescoço (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005). No mesencéfalo também há eminências arredondadas, denominadas corpos quadrigêmeos – os dois colículos superiores e os dois colículos



inferiores, integrantes, respectivamente, das vias visual e auditiva. Na parte ventral do mesencéfalo está o tegmento. Aí se localizam núcleos importantes como o núcleo rubro e a substância negra, que mantêm conexões com estruturas motoras do cérebro (MACHADO, 2005).

A **ponte** fica interposta entre o mesencéfalo e o bulbo e está localizada ventralmente ao cerebelo. O **bulbo**, ou medula oblonga, dá continuidade à ponte. Ambos contêm núcleos constituintes da formação reticular além de estruturas, núcleos e tratos/feixes de axônios, relacionados à motricidade e à sensibilidade de estruturas da cabeça, pescoço, tronco e membros. Dorsalmente à ponte e à porção mais cranial do bulbo, encontra-se o quarto ventrículo (MACHADO, 2005).

### 2.1.1.3 O cerebelo

O cerebelo ocupa aproximadamente um quarto do volume craniano no homem, o que pode dar uma idéia de sua importância funcional (LENT, 2004). Trata-se de uma estrutura globosa com dois hemisférios e dobraduras paralelas transversais, as folhas do cerebelo. Situa-se dorsalmente em relação ao bulbo e à ponte e ventralmente aos lobos occipital e temporal (FIG. 4). Participa de funções motoras, sensório-perceptuais e cognitivas.

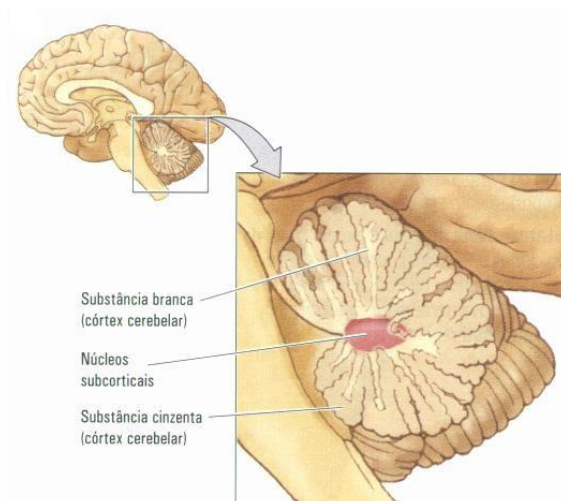


FIGURA 4 - O cerebello  
Fonte: KOLB E WHISHAW, 2002, p. 53.

#### 2.1.1.4 Os ventrículos cerebrais

Ao introduzirmos a visão da estrutura anatômica do cérebro, abordamos a proteção que ele tem contra choques mecânicos, destacando o papel das meninges e do líquido. Além de todas as estruturas organizadas para o perfeito funcionamento cerebral, o encefálo possui quatro cavidades conhecidas como ventrículos (FIG.5), derivadas da cavidade do tubo neural, estrutura embrionária que originou o sistema nervoso central. Dois dos ventrículos, o esquerdo e o direito, são dispostos lateralmente, um em cada hemisfério, enquanto os outros dois, o terceiro e o quarto, se situam na linha média do encéfalo. As células que revestem os ventrículos produzem o **líquido cefalorraquidiano**, o líquido, que não só os preenche como ocupa o espaço subaracnóideo entre as duas meninges mais internas: a piamáter e a aracnóide. A presença do líquido caracteriza um coxim de proteção mecânica para

o encéfalo. Os ventrículos são interconectados, e isso permite que o líquidoorra flua entre eles, sendo finalmente drenados nas granulações aracnóides para os seios venosos existentes na duramáter (MACHADO, 2005). Segundo Kolb e Whishaw (2002), acredita-se que o líquidoorra, ao fluir entre os ventrículos, permite que certos compostos alcancem diversas regiões cerebrais, contribuindo para sua manutenção e para a excreção de resíduos metabólicos.

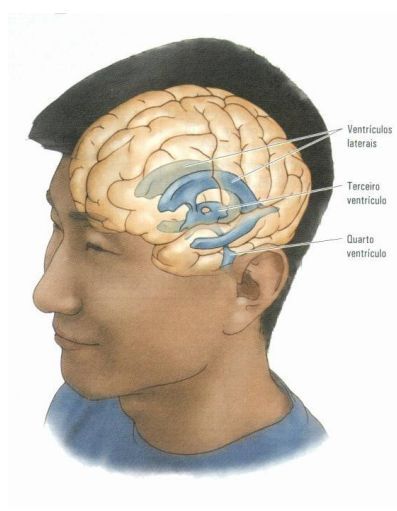


FIGURA 5 - Os ventrículos  
Fonte: KOLB E WHISHAW, 2002, p. 45.

#### 2.1.1.5 O sistema límbico

O sistema límbico é o conjunto de estruturas do sistema nervoso central relacionadas à regulação das emoções (FIG.6). Inicialmente proposto como circuito processador das emoções pelo anatomista James Papez (1883/1958), o sistema límbico foi – continua sendo – alvo de inúmeros estudos que, por vezes, alteraram em muito a sua configuração. Foi identificado o papel relevante de outros elementos

até então não associados a ele. Entre as principais estruturas destacam-se o córtex cingulado, o hipocampo e a amígdala, “o botão de disparo’ de toda experiência emocional” (LENT, 2005).

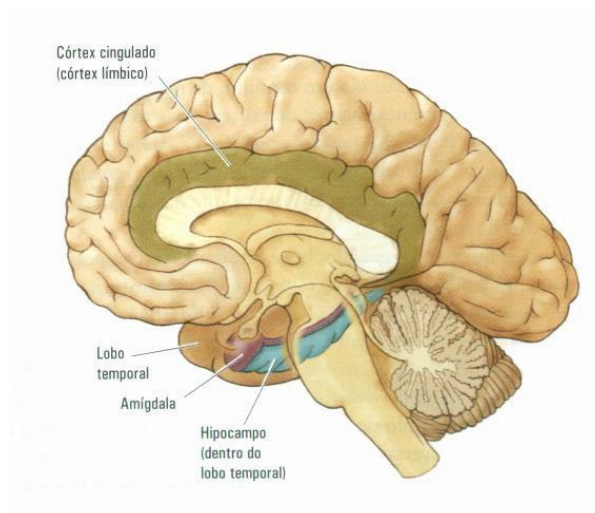


FIGURA 6 - O sistema límbico  
Fonte: KOLB E WHISHAW, 2002, p.58.

Segundo Machado (2005), na face medial de cada hemisfério cerebral observa-se um anel cortical contínuo constituído pelo giro do cíngulo ou cingulado, giro para-hipocampal e hipocampo (estes dois últimos localizados no lobo temporal), partes do córtex cerebral que contornam as formações internas dos hemisférios e compõem o córtex límbico, que é filogeneticamente muito antigo. A amígdala – núcleo, complexo ou corpo amigdalóide – é mais um dos núcleos da base, situada no lobo temporal.

Sabe-se, atualmente, que o sistema límbico é integrado por outras estruturas telencefálicas além daquelas mencionadas, como a área subcalosa ou

septal e o córtex pré-frontal, e por núcleos do tálamo e hipotálamo e áreas mesencefálicas e da formação reticular do tronco cerebral (MACHADO, 2005).

#### **2.1.1.6 A medula espinhal**

A medula espinhal é constituída de neurônios e seus respectivos axônios, localizados dentro da coluna vertebral, formando tratos nervosos que levam informações sensoriais ao SNC e trazem informações motoras ao SNP. Assim como o encéfalo ela também é protegida por um envoltório – as meninges – e pelo líquido (MACHADO, 2005).

#### **2.1.2 SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO**

O sistema nervoso periférico – SNP – permite a atuação do sistema nervoso em todo o organismo. Isso se dá porque existem nervos em praticamente todas as partes do corpo. Todo nervo é constituído por prolongamentos de neurônios (axônios ou dendritos modificados no caso de fibras nervosas sensitivas). Os prolongamentos dos neurônios localizados no sistema nervoso central emergem como nervos que irão estabelecer contato com receptores sensoriais distribuídos em nosso corpo ou com músculos ou glândulas. A conexão com o SNC ocorre através do crânio, no caso dos nervos cranianos, ou da coluna vertebral, no caso dos nervos

espinhais (MACHADO, 2005).

Ao longo de um nervo trafegam “mensagens”, que são os impulsos nervosos, e que podem ser sensitivas (provindas dos receptores sensoriais) ou motoras (que produzem movimentos voluntários ou não ou que levam à secreção de glândulas).

Além dos nervos, o SNP possui agrupamentos de células nervosas, os gânglios, os quais se situam próximos ao SNC ou às paredes das vísceras (ou até mesmo dentro delas).

## **2.3 O TECIDO NERVOSO**

Todo o sistema nervoso é composto basicamente de dois tipos de células: neurônios e gliócitos (células gliais ou da neurógliia). Ambos os tipos operam constantemente de maneira coordenada (MACHADO, 2005).

### **2.2.1 O NEURÔNIO**

Os neurônios ou células nervosas são células que se comunicam entre si ou com células efetadoras (células musculares e secretoras). Há grande variedade de neurônios e eles participam de inúmeras funções no organismo. Apesar de toda a sua diversidade na forma e funções, todos eles têm uma importante propriedade: a

capacidade de gerar impulsos elétricos (LENT, 2005). Utilizando essa capacidade eles criam uma linguagem elétrica, por meio de modificações do potencial de sua membrana. Eles são unidades funcionais que permitem receber informações, processá-las e produzir ações. Cabe a eles ainda guardar as instruções de nosso comportamento – codificar memórias – e originar nossas emoções e pensamentos (KOLB e WHISHAW, 2002).

Funcionalmente podemos distinguir os neurônios em três tipos principais: os neurônios sensitivos, os neurônios motores e os neurônios de associação. Os primeiros recebem estímulos sensoriais e os conduzem ao cérebro. Os segundos são especializados em conduzir impulsos do cérebro aos órgãos efetadores. Já os últimos fazem a associação entre os dois primeiros.

Todo neurônio é subdividido em corpo celular, dendritos e axônio (FIG.7). O corpo celular também recebe o nome de soma ou pericário e se incumbem do metabolismo celular, da síntese das proteínas neuronais e dos processos de degradação e renovação celular. Também recebe estímulos de outros neurônios (MACHADO,2005).

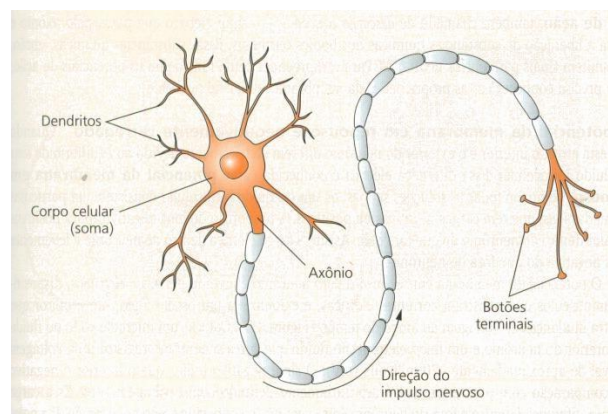


FIGURA 7 - O neurônio  
Fonte: GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005, p. 95.

O axônio e os dendritos são prolongamentos que emergem do soma. Os dendritos recebem informações provindas de outros neurônios, sendo, portanto, estações de entrada, e costumam ser mais curtos e bem ramificados, embora também apresentem imensa variabilidade de formação. O axônio, por sua vez, é um prolongamento que se evidencia dos demais. Usualmente ele se ramifica somente na sua porção terminal e veicula os sinais de saída do neurônio. Ele pode ser simples e curto – poucos micrômetros –, mas também pode chegar ao comprimento que há entre a medula espinhal e os músculos do pé – cerca de 1 metro (LENT, 2004). Tem uma forma cilíndrica e apresenta além da membrana plasmática, o citoplasma (MACHADO, 2005). É no axônio, no seu segmento inicial, que é gerada alteração do potencial de membrana. O axônio apresenta, na sua extremidade, a terminação axônica, o botão sináptico, que participa da estrutura da sinapse, descrita adiante.

No meio intracelular do neurônio, devido a características de permeabilidade seletiva de sua membrana, há um predomínio de cargas negativas, que provocam um potencial elétrico na membrana. Ocorre que movimentos de íons através da membrana podem alterar esse potencial e causar uma hiperpolarização (aumento da carga negativa dentro da célula ou diminuição do lado de fora) ou uma despolarização (aumento da carga positiva no exterior ou diminuição no interior). Quando ocorre a primeira, o neurônio é inibido; quando ocorre a segunda, ele é excitado (MACHADO, 2005).

Os fenômenos de excitabilidade e inibição neuronais constituem o fundamento para a comunicação que poderá se estabelecer entre neurônios. A excitabilidade de um neurônio pode levar a uma grande amplitude do potencial da membrana, originando o “potencial de ação”. O movimento desse potencial de ação



ao longo do axônio, desde a zona de disparo ou gatilho até a terminação axônica, é o impulso nervoso (KOLB e WHISHAW, 2002), que freqüentemente, em linguagem leiga, chamamos de “informação ou mensagem do neurônio”. Através dos terminais axônicos, os neurônios estabelecem conexão com outras células ou entre si (MACHADO, 2005) possibilitando a transferência do impulso nervoso. Essas conexões são denominadas sinapses.

### **2.2.2 OS GLIÓCITOS, CÉLULAS DA GLIA OU NEURÓGLIA**

Neurógliã é um termo usado para designar o conjunto das células da glia ou gliócitos. Estes são bem mais numerosos que os neurônios e também apresentam tipos morfológicos diferentes com funções diferentes. Astrócitos fornecem o arcabouço de sustentação para os neurônios, conduzem nutrientes do sangue, controlam as concentrações de íons no meio extracelular, armazenam glicogênio e participam dos mecanismos de cicatrização no SN. Microgliócitos participam de processos de defesa em caso de lesão ou de infecção. Oligodendrócitos e células de Schwann fornecem uma capa isolante aos axônios e ainda exercem muitas outras funções. Prolongamentos desse gliócitos se enrolam em torno de fibras nervosas para formar a bainha de mielina (LENT, 2004), que funciona como isolante elétrico e é fundamental para o aumento da velocidade na condução dos impulsos nervosos. Quando envolvidos por mielina, diz-se tratar de axônios mielinizados. Do contrário diz-se amielínicos. Ependimócitos produzem o líquido (LENT, 2004). Até na transmissão de informações, antes atribuída só aos

neurônios, os gliócitos participam. Especificamente o astrócito, libera um neurotransmissor, o glutamato, que veicula importante mensagem química, participando da comunicação neuronal nas sinapses (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

### **3 A ORGANIZAÇÃO FUNCIONAL DO CÉREBRO**

Conforme Kolb e Whishaw (2002), o cérebro tem aproximadamente 100 bilhões de neurônios e um número muito maior ainda de células gliais. As diversas partes dele fazem muitas conexões entre si. Tudo nele é organizado de modo sistemático e trabalha respeitando oito princípios.

#### **3.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DO FUNCIONAMENTO CEREBRAL**

Segundo Kolb e Whishaw (2002), o primeiro desses princípios é que as informações sobre o mundo veiculadas pelas células nervosas seguem sempre a mesma seqüência: entrada → integração → saída. Há neurônios, os neurônios sensoriais ou sensitivos, que recebem os estímulos ambientais. Eles enviam um sinal comunicando a informação a outros. Estes outros, os neurônios de associação, podem receber simultaneamente sinais diversos e precisam fazer a integração entre eles. Com isso criam novas informações e as repassam àqueles que serão incumbidos de produzir a resposta, os neurônios motores. As inúmeras conexões entre os neurônios se dão nos pontos denominados sinapses, regiões de contato entre eles, e permitem que diferentes áreas cerebrais se influenciem mutuamente. As conexões de entrada são as aferentes, e as de saída, as eferentes.

O segundo princípio é que em todo o sistema nervoso existe a separação de funções sensoriais e motoras – tanto no SNC como no SNP.

Terceiro princípio: os circuitos cerebrais são cruzados. Cada hemisfério recebe os estímulos sensoriais do outro lado e também controla os músculos do lado oposto.

Quarto princípio: o cérebro é tanto simétrico quanto assimétrico: embora os hemisférios se espelhem, cada um deles tem características específicas, havendo, entretanto, forte comunicação entre eles.

Quinto princípio: é preciso ter em mente que o sistema nervoso funciona por excitação e inibição, ou seja, para cada comportamento produzido, ele ativa algumas ações e suspende outras.

Sexto princípio: conforme o grau de complexidade das informações e respostas vai aumentando, níveis funcionais hierarquicamente superiores são solicitados.

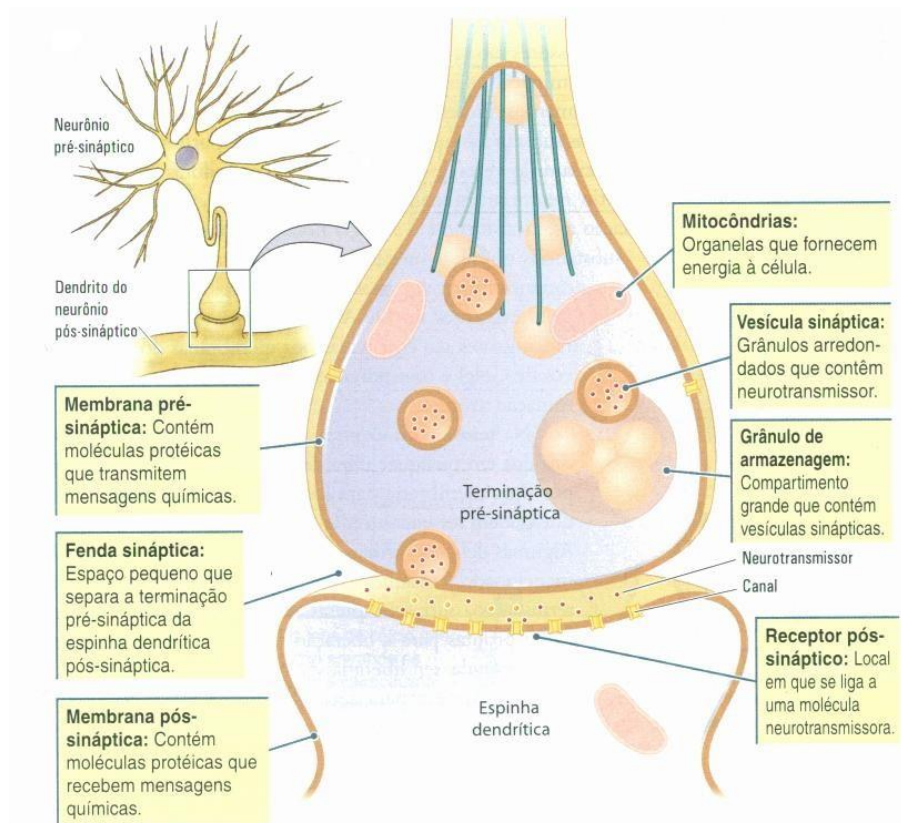
Sétimo princípio: há também circuitos paralelos. Eles atuam no mesmo nível, embora cada qual com conexões seletivas e especializadas em aspectos diferentes.

Oitavo princípio: as funções cerebrais são localizadas em regiões específicas, mas também são distribuídas difusamente. Isso dá ao cérebro a vantagem de, quando sofrer danos em pequenas áreas, apresentar somente sintomas focais ou até mesmo, compensar alguns prejuízos ativando outras vias alternativas.

### 3.2 AS SINAPSES: NEUROTRANSMISSORES E RECEPTORES

A sinapse é o local onde ocorrem “trocas de informações” entre dois neurônios (FIG.8). É constituída: pela membrana da terminação axônica de um neurônio, chamada membrana pré-sináptica, constituindo o terminal pré-sináptico; pela membrana do dendrito, do pericário ou axônio de outro neurônio, formando o terminal pós-sináptico; e pela fenda sináptica, espaço entre as duas membranas, pré e pós-sináptica. Na terminação pré-sináptica existem vesículas contendo substâncias químicas, os neurotransmissores. É na sinapse que um neurônio – pré-sináptico – transmite um impulso nervoso a outro – pós-sináptico (KOLB e WHISHAW, 2002).

O potencial de ação disparado no neurônio pré-sináptico, ao final de seu percurso, atinge o terminal axônico. Ali ocorre a fusão de algumas vesículas com a membrana plasmática. Nessa fusão, uma substância química é secretada na fenda sináptica: o neurotransmissor. É o “sinal” que contém a “mensagem” transmitida pelo neurônio pré-sináptico e que propicia a despolarização, ou seja, a transmissão do impulso nervoso ao neurônio pós-sináptico através da ativação dos receptores existentes na membrana pós-sináptica. A atividade de um conjunto de neurônios conectados entre si, constituindo circuitos neuronais, despolarizando simultaneamente e retransmitindo impulsos nervosos a outros é o que caracteriza neurobiologicamente um comportamento (KOLB e WHISHAW, 2002).



**FIGURA 8 - Sinapse**  
 Fonte: KOLB E WHISHAW, 2002, p. 157.

Diferentes circuitos neuronais, em diferentes locais do cérebro, secretando tipos<sup>1</sup> específicos de neurotransmissores, implicam diferentes comportamentos produzidos. Os comportamentos não podem ser reduzidos à ação de um único neurotransmissor, mas diversos neurotransmissores participam mais de um comportamento do que outro. Exemplificando, o neurotransmissor acetilcolina está envolvido em processos mentais complexos como aprender, memorizar, dormir e sonhar. A norepinefrina (noradrenalina) é associada à atenção e ao comportamento alimentar. A dopamina atua no controle motor e na recompensa. E a serotonina, nos estados emocionais (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005, p. 105 e 107).

<sup>1</sup> Kolb e Whishaw (2002, p. 163) afirmam haver mais de 100 tipos de neurotransmissores para controlar comportamentos altamente complexos e adaptáveis.

Alterações nos níveis de neurotransmissores resultam em problemas comportamentais. Kolb e Whishaw (2002, p. 174) afirmam que: perda nos níveis de dopamina estão relacionados à doença de Parkinson, enquanto a elevação da sua atividade pode estar relacionada à esquizofrenia; baixa na atividade de norepinefrina pode estar relacionada com a depressão e seu aumento, com a mania; e aumentos nos níveis de atividade da serotonina podem relacionar-se com transtorno obsessivo-compulsivo, tiques e esquizofrenia, enquanto que diminuições podem relacionar-se com a depressão. E Gazzaniga e Heatherton (2005, p.107) relatam que os baixos níveis de serotonina estão associados a humor triste e ansioso, desejo incontrolável de comer e comportamento agressivo.

O conhecimento dos mecanismos que envolvem a ação de neurotransmissores nos possibilita intervir, quando necessário, nos comportamentos. Assim, como exemplo, sabemos que o ácido gama-aminobutírico – GABA –

é o neurotransmissor inibidor primário no sistema nervoso e opera em todo o cérebro para hiperpolarizar as membranas pós-sinápticas. Sem o efeito inibitório do GABA, a excitação sináptica poderia ficar descontrolada e se estender pelo cérebro em um circuito reverberante (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005, p. 108).

Por isso drogas que afetam esse sistema são utilizadas, por exemplo, para tratar transtornos de ansiedade (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

Outro neurotransmissor de destaque é o glutamato. É o “transmissor excitatório primário no sistema nervoso e está envolvido na transmissão neuronal de ação rápida por todo o cérebro” (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005, p. 109).

Atuando nos mecanismos que reforçam as conexões sinápticas, ele ajuda a aprendizagem e a memória.

Uma vez que os neurotransmissores “entreguem a mensagem” ou transmitam o impulso nervoso para o neurônio seguinte, para que o processo não se perpetue, eles são imediatamente removidos da fenda sináptica por ação de uma enzima ou por recaptação pela membrana do neurônio pré-sináptico (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

Quanto aos receptores – proteínas especializadas – na membrana pós-sináptica, que “recebem a mensagem” após a combinação com os neurotransmissores, eles podem funcionar de duas maneiras. Primeiro, abrir-se em um canal que deixa determinados íons passarem para dentro ou para fora do neurônio pós-sináptico. Segundo, causar a formação de uma molécula que é um segundo mensageiro e que efetua modificações na célula pós-sináptica. A partir da ação do receptor, pode surgir uma hiperpolarização, que inibirá o neurônio pós-sináptico, ou uma despolarização, que o excitará, levando-o a produzir um potencial de ação pós-sináptico e retransmitir a mensagem para outro neurônio (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005; KOLB e WHISHAW, 2002).

É importante ressaltar que, de acordo com Machado (2005), cada neurônio pode receber de 1.000 a 10.000 contatos sinápticos. E os potenciais de ação pós-sinápticos excitatórios e inibitórios são somados e integrados para que ele tome a sua “decisão” sobre a mensagem a ser passada adiante.



### 3.3 O FUNCIONAMENTO DAS GRANDES ESTRUTURAS CEREBRAIS

As diversas estruturas do sistema nervoso se conectam com o resto do corpo por meio das fibras nervosas, os axônios, organizados em nervos. Estas se ligam a receptores sensoriais na superfície corporal e a órgãos dos sentidos, bem como a órgãos internos, a vísceras e a músculos.

As fibras nervosas compõem redes de vias sensoriais e motoras. Os nervos sensoriais se relacionam com os órgãos dos sentidos – visão, audição, olfato, paladar e tato. Com as informações advindas deles, o cérebro constrói imagens, memórias e, através do planejamento de comportamentos, expectativas. Por outro lado, os nervos motores possibilitam as respostas, voluntárias ou não, definindo o funcionamento dos órgãos (KOLB e WHISHAW, 2002).

Muitos nervos se conectam ao SNC pela medula espinhal. Há informações que chegam do corpo e que produzirão respostas geradas na própria medula, sem passarem pelo cérebro, são respostas reflexas. O mesmo pode acontecer em relação aos nervos cranianos e às estruturas do tronco encefálico (KOLB e WHISHAW, 2002). Mas a medula espinhal também funciona como uma via de comunicação entre o SNP e estruturas mais rostrais do SNC. Por ela passam feixes de fibras nervosas sensitivas trazendo informações da periferia do corpo. Esses feixes de axônios aferentes chegam ao cerebelo, tronco encefálico e/ou tálamo e daí ao córtex cerebral. Em cada uma dessas estruturas o impulso nervoso é processado, uma resposta é elaborada e levada à medula espinhal através de feixes de fibras eferentes motoras e daí a músculos esqueléticos, cardíaco, liso ou glândulas (MACHADO, 2005). Sensações e movimentos são a base do

comportamento, os fundamentos da atividade cerebral.

### **3.3.1 TRONCO ENCEFÁLICO, NERVOS CRANIANOS E CEREBELO**

Os nervos cranianos são 12 pares de vias aferentes – que recebem estímulos cabeça e pescoço, dos olhos, ouvidos, boca e nariz – e de vias eferentes – que controlam os músculos faciais, mastigatórios, da deglutição, da fonação, língua e olhos. No tronco encefálico estão os neurônios, formando núcleos, cujos axônios constituirão os nervos cranianos (MACHADO, 2005).

Sobre o tronco encefálico, Kolb e Whishaw (2002, p. 50) afirmam que ele “produz movimentos e cria um mundo sensorial”. O bulbo, a ponte, o mesencéfalo e o cerebelo também, ou seja, todo o rombencéfalo destaca-se em funções motoras e sensoriais que incluem visão, audição, gustação, equilíbrio, sensações de tato, dor, temperatura, propriocepção da cabeça e pescoço, movimentos de estruturas dessa região além de controle do tônus e de postura de nosso corpo. No mesencéfalo, estão os dois colículos superiores e os dois inferiores, com funções visuais e auditivas respectivamente. Kolb e Whishaw (2002) consideram que parece haver o compartilhamento de um mapa do mundo externo pelos sistemas visual e auditivo no mesencéfalo, o que permite, por exemplo, que os ouvidos captem a direção para onde o indivíduo deve olhar.

Com relação ao funcionamento do cerebelo, ele tem sido tradicionalmente associado a movimentos complexos e à aprendizagem motora. Não obstante isso, recentes estudos o apontam associado a uma grande variedade de atividades

cognitivas e perceptivas. Bower e Parsons (2005)<sup>2</sup> relatam que:

[...] o cerebelo humano está ativo durante uma grande variedade de atividades não diretamente relacionadas ao movimento.[...] rapidez e precisão com que as pessoas percebem as informações sensoriais [...]tem um papel importante na memória de curta duração, na atenção, no controle de atos impulsivos, nas emoções, nas funções cognitivas superiores, na habilidade de planejar tarefas[...].

### **3.3.2 A COMPLEXIDADE DO FUNCIONAMENTO DO PROENCÉFALO: DIENCÉFALO E TELENCEFALO**

O **diencéfalo** representa um grande refinamento na execução das funções até aqui tratadas. Sua participação nas funções motora e sensorial é acrescida do forte papel na integração de ambas. Pelo **hipotálamo** ele toma parte em quase todos os aspectos comportamentais, na regulação de ritmos biológicos, temperatura, equilíbrio hidro-eletrolítico, emoção, função hormonal, regulação do sistema nervoso visceral. As interações do hipotálamo com a hipófise asseguram o controle da produção dos hormônios de todo o corpo. E pelos **tálamos** ele recebe informações de quase todos os sistemas sensoriais, retransmitindo-as para o córtex. Além disso, o tálamo é também uma estrutura integradora da atividade motora devido às suas

---

<sup>2</sup> James M. Bower (professor de neurobiologia computacional) e Lawrence M. Parsons (Professor de neurociências cognitivas), do Centro de Pesquisas de Imagem do Centro de Ciência da Saúde da Universidade do Texas, em San Antônio.

conexões com o cerebelo e núcleos da base e participa, também, dos circuitos neurais de regulação das emoções e da ativação do córtex cerebral (LENT, 2004; KOLB e WHISHAW, 2002). O epitélamo tem estruturas envolvidas com a regulação dos ritmos circadianos e com os circuitos do sistema límbico, relacionado às emoções (MACHADO, 2005).

O auge do refinamento na execução de funções cerebrais fica a cargo do **telencéfalo**. O telencéfalo de todos os mamíferos, e principalmente dos humanos, é extremamente desenvolvido, apresentando, com exclusividade, o neocórtex. Suas estruturas são as maiores do cérebro (KOLB e WHISHAW, 2002).

O córtex cerebral regula as atividades mentais – como percepção e planejamento, memória, atenção, emoção, raciocínio lógico-matemático, linguagem, entre outras funções. O córtex cerebral pode receber estímulos que direcionam a percepção, mas também pode alterar a percepção por “força da imaginação”, ou seja, pelo processamento dos impulsos nervosos desencadeados pelo estímulo sensorial em conjunto com a atividade de outros circuitos neurais em paralelo também ativados, mas não diretamente relacionados àquela via sensorial. Kolb e Whishaw (2002) afirmam que o neocórtex tem por função “criar um mundo perceptivo”. Como o córtex faz conexões com praticamente todas as partes do cérebro, torna-se difícil delimitar suas funções específicas bem como as de outras áreas que estão sempre a receber sua influência.

No córtex cerebral, áreas diferentes têm papéis diferenciados. Gazzaniga e Heatherton (2005) atribuem algumas funções específicas a cada lobo. O lobo occipital relaciona-se muito com o sentido da visão. Nele temos a área visual primária e, envolvendo-a, as áreas visuais secundárias, encarregadas da classificação de atributos como cor, movimento e forma. Entre as áreas secundárias

percebe-se o paralelismo de funções, uma vez que, estando num mesmo nível funcional, cada uma se especializa num atributo.

O lobo parietal lida, pelo menos em parte, com o sentido do tato e com a configuração espacial do ambiente. Aí se encontra o córtex somatossensorial primário, com representações corticais de toda a superfície do corpo que formam um mapa somatotópico – como se aí houvesse um homem inteiro em miniatura, ou seja, um “homúnculo” somatossensorial<sup>3</sup> (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005; LENT, 2004). Essas representações são proporcionais à sensibilidade de cada área representada, ou melhor, ao número de receptores sensoriais nelas presentes. Assim, entre as maiores áreas cerebrais aí representadas estão as que correspondem aos estímulos derivados das mãos e da face, sobretudo do polegar, dos lábios e da língua. Tendo uma grande quantidade de receptores, essas áreas exigem um grande volume de tecido neural para processar as informações que delas decorrem. É importante ressaltar que a aprendizagem e outras condições ambientais alteram esse quadro, mobilizando novas áreas para algumas funções, podendo gerar mapas somatotópicos diferenciados, mudando a configuração do “homúnculo” (LENT, 2004).

Os lobos temporais se destacam nas suas relações com a audição. Neles também há divisões entre áreas primárias e secundárias: o córtex auditivo primário, que detecta o estímulo sonoro, e o secundário, que distingue os sons uns dos outros e os caracteriza conforme frequência e amplitude. No hemisfério esquerdo, essas áreas secundárias incluem a decodificação de palavras e frases. No hemisfério direito estão mais relacionadas à percepção da música e da prosódia (a música da linguagem, a entonação). Os lobos temporais ainda englobam áreas visuais mais

---

<sup>3</sup> Há outras representações corticais de apenas partes da superfície corporal, as quais poderiam constituir uma imagem parcial do homúnculo.

aprimoradas para o reconhecimento de detalhes, como faces, e são críticos para o processamento da memória, já que incluem a amígdala e o hipocampo, fundamentais para essa função.

Já os lobos frontais trabalham essencialmente com planejamento e movimento. O córtex motor primário, aí presente, projeta informações diretas para a medula espinhal, sendo auxiliado por várias outras áreas motoras, cerebelo, núcleos da base e áreas corticais de planejamento motor como a área pré-motora e motora suplementar. Nele também se encontra uma representação da superfície corporal a que se dá o nome de “homúnculo motor” (KOLB e WHISHAW, 2002.).

À frente da área motora do córtex frontal, está o córtex pré-frontal, que, ainda segundo Gazzaniga e Heatherton (2005), corresponde a 30% do cérebro humano. Ele é simplesmente indispensável para o raciocínio dirigido. Direcionar e manter a atenção, planejar e executar, interpretar e comportar-se socialmente e emocionalmente são algumas das funções atribuídas ao córtex pré-frontal.

O lobo da ínsula, segundo Philips *et al.* (1997 apud Gazzaniga e Heatherton, 2005), foi associado a reações do paladar, a gostos e cheiros desagradáveis, e é ativado pela sensação de nojo.

Os núcleos da base têm por tarefa a regulação e o planejamento dos movimentos. Doenças originadas a partir do seu mau funcionamento não impedem a produção de movimentos, mas propiciam o seu descontrole: quadros de hipocinesia com tremores e rigidez ou de hipercinesia com movimentos espasmódicos, anormais. Além disso, os pacientes que apresentam lesão nestas estruturas têm dificuldade de produzir expressão facial ou fala emocional bem como de compreendê-las (LENT, 2004).

### **3.3.3 – O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA LÍMBICO**

O sistema límbico atua nas emoções e nos comportamentos que requerem memória. Embora o sistema límbico seja constituído de diversas estruturas telecefálicas (giro do cíngulo, área subcalosa, giro parahipocampal, córtex pré-frontal), diencefálicas (tálamo, hipotálamo, núcleo das habênulas) e mesencefálicas (área tegmentar ventral), duas estruturas telencefálicas se evidenciam: o hipocampo, com papel primordial no armazenamento de novas memórias, e a amígdala, cuja importância reside no fato de, através dela, podermos associar fatos com respostas emocionais (LENT, 2004).

Para Gazzaniga e Heatherton (2005), os lobos frontais em interação com o sistema límbico, sobretudo a amígdala, possibilitam a antecipação de respostas emocionais, diante de situações ameaçadoras, por exemplo. Esses autores citam Antônio Damásio<sup>4</sup>, que considera que o raciocínio e a decisão dependem da avaliação emocional que fazemos das conseqüências de cada ação.

Eles também ressaltam que a única área que foi inúmeras vezes identificada como importante para a memória é a seção medial dos lobos temporais. É aí que se encontram os hipocampos e as amígdalas. Remoção do hipocampo, comprovadamente, provoca amnésia anterógrada, quer dizer, incapacidade de memorizar fatos e informações recentes.

O hipocampo age ao criar novas conexões com o córtex após cada nova experiência por que passamos, e a amígdala é responsável por novas associações nas vias emocionais já estabelecidos (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005). Ambos

---

<sup>4</sup> Antônio Damásio, neurocientista que escreveu “O erro de Descartes”.

têm uma função de modificação do comportamento, fundamental, portanto, para a aprendizagem.

### **3.3.4 ESPECIALIZAÇÃO DOS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS**

O prosencéfalo se divide em dois hemisférios cerebrais simétricos. E cada hemisfério, por sua vez, possui um tálamo, um hipotálamo, um hipocampo, uma amígdala, um conjunto de núcleos da base ou corpo estriado e um córtex completo.

Aí se localizam áreas funcionais que cuidam de inúmeros aspectos do comportamento: percepção, imaginação, atenção, memória, emoção, planejamento e execução, raciocínio dirigido, movimento. Enfim, esse é o local dos pensamentos e da consciência. Nos humanos, essa área atingiu um alto nível de evolução, e isso permitiu o desenvolvimento de uma comunicação complexa, a linguagem, e da cultura (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

Apesar dessa divisão em dois hemisférios, há comunicação estrutural e funcional entre eles, feita por conexões intracorticais (axônios de neurônios de um hemisfério se projetam para o hemisfério oposto e vice-versa), denominadas comissuras, entre as quais se evidencia o corpo caloso (GAZZANIGA, 2005; KOLB e WHISHAW, 2002).

O conhecimento que temos sobre o funcionamento de cada hemisfério surgiu a partir de investigações em pacientes que tiveram essas comissuras seccionadas e possibilitaram numerosos estudos durante quatro décadas conforme relata Gazzaniga (2005).



Já se sabe hoje que os hemisférios regulam o pensamento e a ação em aspectos muito diversos. Portanto, não obstante os hemisférios apresentarem macroscopicamente uma aparente simetria morfológica – alguns giros e sulcos apresentam diferenças quando comparados entre hemisférios –, é evidente a assimetria funcional. Cada um deles se especializou em determinadas tarefas e, por isso, há uma forte lateralização, com vantagens e limitações. Reconhece-se que o hemisfério esquerdo é especializado na compreensão e produção de linguagem na maioria das pessoas. A atividade desse lado do cérebro possibilita-nos descrever o que vemos e vivenciamos. Por outro lado, com a metade direita somos capazes de mobilizar uma resposta não-verbal para aquilo que vemos, mas não de falar sobre o que foi visto. Aí sobressaem as tarefas visiomotoras (GAZZANIGA, 2005).

Há fortes evidências de que entre as especialidades do hemisfério esquerdo esteja o domínio em atividades cognitivas importantes, como a solução de problemas e maior competência na atenção. Já o direito, na maioria das pessoas, não lida nem sequer com rudimentos da linguagem, embora tenha participação na prosódia, e apresenta graves limitações na solução de problemas complicados. Entretanto, quando há perda de áreas cerebrais, em decorrência da plasticidade e das diferenças individuais, ele pode desenvolver essa capacidade (GAZZANIGA<sup>5</sup>, 2005, p. 10 e 11).

Apesar dessas especializações, é um mito classificar os indivíduos quanto ao predomínio de um hemisfério sobre o outro. Uma simplificação do tema produziu a absurda idéia de pensamento cerebral direito ou esquerdo (GEAKE, 2003).

---

<sup>5</sup> Michael S. Gazzaniga é professor de neurociência cognitiva e diretor do Centro de Neurociência Cognitiva do Dartmouth College. Obteve o título de doutor no Instituto de Tecnologia da Califórnia, onde iniciou suas pesquisas sobre o cérebro dividido. Já publicou artigos em inúmeras áreas e é responsável pelo lançamento do campo da neurociência cognitiva na década de 80.

Certamente os dois lados trabalham juntos em muitas situações. Sobretudo quando as tarefas são muito complexas.

A atenção, por exemplo, mobiliza estruturas corticais e subcorticais.

Vejamos:

[...] cada hemisfério é capaz de direcionar a atenção espacial não somente para a sua própria esfera sensorial, mas também para certos pontos na esfera sensorial do hemisfério oposto desconectado. Isso sugere que o sistema atencional é comum aos dois hemisférios – pelo menos no que diz respeito às informações espaciais [...] (HOLTZMAN, [198-], citado por GAZZANIGA, 2005).

Diante dos apontamentos feitos, podemos concluir que qualquer definição rígida sobre as funções específicas dos hemisférios será imprudente.

## 4 DESENVOLVIMENTO CEREBRAL E NEUROPLASTICIDADE

### 4.1 EVOLUÇÃO DO SISTEMA NERVOSO

O cérebro humano moderno existe há 100 mil ou 200 mil anos, de acordo com Kolb e Whishaw (2002). Além disso, toda a organização morfológica e funcional do sistema nervoso resulta de um longo processo evolutivo de seleção natural que produziu cérebros com abundância de circuitos neurais e que podem ser modificados pela experiência (CARLSON, 2000 *apud* FERRARI; FALEIROS e CERUTTI, 2001).

Beirão e Guerra (2005) apontam que novas e vantajosas habilidades para a sobrevivência dos organismos vivos foram adquiridas gradativamente: surgiu a propriedade de irritabilidade nos primeiros seres unicelulares, redes neurais simples se formaram nos invertebrados, e estruturas nervosas foram desenvolvidas com grande aumento de neurônios de associação e diversidade de neurotransmissores nos vertebrados.

### 4.2 ETAPAS DO DESENVOLVIMENTO CEREBRAL

O patrimônio biológico de todo indivíduo começa com a apropriação dessas bases conquistadas filogeneticamente e das características herdadas dos

pais. Isso se dá quando o espermatozóide penetra no óvulo. O desenvolvimento se verificará, então, a partir da conjugação do material genético – cromossomos – trazido por essas duas células paternas para compor a primeira célula embrionária: a célula-ovo ou zigoto. Daí em diante, haverá inúmeras divisões celulares que, a princípio, originarão células exatamente iguais ao zigoto. Porém, ao iniciar sua organização, esse material precisará se diferenciar (LENT, 2004). Quer dizer: as novas células vão expressar de modo diferente o material genético de que dispõem.

A diferenciação implica mudanças de tamanho e forma, numa seqüência de eventos que ocorrem em momentos da ontogênese e locais do organismo em desenvolvimento apropriados. Por isso as células iniciam uma migração em busca dos seus destinos, e nessa viagem cada uma vai interagindo com outras e com o material extracelular, terminando por entrar na composição de diferentes tecidos e órgãos, tendo em vista o desempenho de funções específicas. Inicialmente são formadas três camadas embrionárias: o ectoderma, o mesoderma e o endoderma, (LENT, 2004).

O sistema nervoso se forma a partir da diferenciação e migração de células do ectoderma. O processo de desenvolvimento cerebral segue uma sucessão de fenômenos que passa por: neurogênese e migração neuronal, gliogênese, diferenciação, crescimento dos axônios e dendritos, formação de sinapses, apoptose (morte programada), rearranjo e eliminação de sinapses, refinamento das conexões, e finalmente mielinização<sup>6</sup>. Esse processo é relatado a seguir:

---

<sup>6</sup> Revestimento do axônio pela bainha de mielina.

Durante o desenvolvimento embrionário, células precursoras proliferam intensamente, migrando, em seguida, para locais específicos, onde se diferenciam em estruturas nervosas, num processo programado geneticamente e que envolve a produção de fatores sinalizadores. Uma vez estabelecidos em suas posições adequadas dentro do sistema nervoso, os novos neurônios se especializam, apresentando formas e funções específicas, estabelecendo conexões, denominadas sinapses, com outros neurônios próximos ou distantes, organizando-se assim, em circuitos neurais que transmitem sinais elétricos e químicos entre si. A mielinização dos axônios, prolongamentos existentes nos neurônios, aumenta a velocidade de condução dos sinais, caracterizando o estágio final de formação do sistema nervoso. A aquisição progressiva das habilidades de sentar-se, engatinhar e andar, observadas numa criança durante seu primeiro ano de vida, é reflexo do estabelecimento de sinapses e da mielinização de vias motoras. (BEIRÃO e GUERRA, 2005).

Alguns mecanismos cerebrais completam essas etapas do desenvolvimento por ocasião do nascimento, mas a maioria dos circuitos neurais, no período pós-natal, depende da experiência do indivíduo para se consolidar. Por ocasião do nascimento, o número de sinapses é baixo, comparado com o do cérebro adulto, aumentando consideravelmente do segundo ao décimo mês – chegando a ultrapassar o número existente nos adultos – para se reduzirem a partir daí, equiparando-se ao adulto por volta dos dez anos de idade (ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICOS – OCDE –, 2003, p. 119).

Após o nascimento alguns períodos se destacarão na configuração de novas áreas funcionais no sistema nervoso, especialmente no cérebro.

Não obstante a célula manter a carga genética inalterada durante todas as etapas do desenvolvimento, a expressão dos genes é influenciada pelo microambiente onde a célula se situa (POSNER e ROTHBART, 2005). Ou seja, o gene não é determinante, apesar de representar restrições.

Também o ambiente externo tem influência sobre a atuação dos genes. Gray e Thompson (2004) afirmam, tratando especificamente da estrutura cerebral,

que ela não é completamente definida por genes. E exemplificam que aprender uma habilidade motora ou perceptual difícil induz a 3% de aumento no volume da massa cinzenta nas áreas de atenção visual, caracterizando uma ação do ambiente sobre os determinantes genéticos do indivíduo.

Posner e Rothbart (2005) citam exemplos em que efeitos relativamente modestos de influências genéticas em diferenças comportamentais poderiam ser atribuídos à interação com experiências durante o desenvolvimento de redes neurais. Consideram ainda que há evidências reveladas por estudos de imagem de que algumas intervenções poderiam influenciar o desempenho e alterar as redes neuronais.

Documento publicado pela UNICEF<sup>7</sup> (2001) alerta para o fato de que diversos fatores no ambiente em que vivem as crianças podem prejudicar seriamente o seu desenvolvimento neural. Problemas de saúde e nutrição inadequada da mãe na gestação e nos primeiros anos, consumo de drogas (lícitas ou ilícitas), um ambiente pobre de estímulos, falta de brincadeiras, de toque, de cuidados, de estimulação intelectual, água não potável e saneamento precário, degradação ambiental e abuso físico ou emocional são alguns desses fatores. Por outro lado, o bem-estar da criança nos primeiros anos tem grande impacto no jovem nos anos seguintes. O ambiente familiar sadio – ressaltando o envolvimento do pai, uma vez que as pesquisas apontam para a diferença dos estímulos que homens e mulheres despertam nas crianças – e o acesso a creches e pré-escolas são extremamente favoráveis na primeira infância e são mencionados pela UNICEF como fundamentais.

---

<sup>7</sup> Fundo das Nações Unidas para a Infância.

### 4.3 NEUROPLASTICIDADE

Já é bem estabelecido que o cérebro tem grande plasticidade e se modifica por toda a vida. A plasticidade neural ou neuroplasticidade é a propriedade do sistema nervoso fundamental para a re-organização estrutural das conexões entre neurônios, substrato biológico da aprendizagem, ou seja, da aquisição de novos comportamentos.

Isso, conforme Lent (2004), pode ocorrer estruturalmente ou funcionalmente. Por vezes, novos circuitos são criados com a alteração dos trajetos das fibras nervosas. Em outras ocasiões, ocorrem mudanças na configuração dos dendritos ou no número de células em determinada região. E ainda podem ocorrer mudanças apenas no funcionamento, sem alteração morfológica evidente, geralmente ligadas às conexões, ou seja, às sinapses. Os mecanismos de neuroplasticidade envolvem cascatas bioquímicas, com participação de diversas substâncias produzidas pelo próprio neurônio quando este é ativado, ou seja, quando seu potencial de membrana é alterado. Estas substâncias podem, entre outros efeitos, levar à ativação de genes daquele neurônio com posterior síntese de proteínas que participarão das alterações morfológicas características da plasticidade (KOLB e WHISHAW, 2002).

De acordo com Phelps (1990 *apud* FERRARI; FALEIROS e CERUTTI, 2001):

Plasticidade neural pode ser definida como uma mudança adaptativa na estrutura e nas funções do sistema nervoso, que ocorre em

qualquer estágio da ontogenia, como função de interações com o ambiente interno ou externo ou, ainda como resultado de injúrias, de traumatismos ou de lesões que afetam o ambiente neural.

O sistema nervoso é, assim, um sistema aberto, altamente capaz de adaptações em resposta a fatores ambientais internos e externos. (KOLB e WHISHAW, 2002; OCDE, 2003). Mirabella (2005) confirma isso:

Os dados experimentais obtidos nas últimas décadas demonstraram que todas as funções cerebrais podem ser modificadas pela experiência. Em outros termos, todas as partes do cérebro modificam-se e renovam-se ininterruptamente no curso da vida. [...] tecidos cerebrais nervosos devem ser, de alguma maneira, pensados como conjuntos dinâmicos que são continuamente modelados pela experiência sensorial e pela aprendizagem.

Embora mudanças estruturais e funcionais dos neurônios ocorram por toda a vida, a sensibilidade do cérebro aos fatores que as desencadeiam pode ser maior em determinados períodos: são os chamados períodos críticos ou receptivos<sup>8</sup>.

Também é preciso considerar que nem sempre o resultado da plasticidade é favorável. Há situações em que elas produzem funções mal-adaptativas ou patológicas.

Entretanto, o conhecimento firmado sobre a plasticidade neural é chave para a compreensão da aprendizagem permanente. “O aprendizado de longo prazo modifica o cérebro fisicamente, porque requer o surgimento de novas conexões entre os neurônios” (OCDE, 2003).

---

<sup>8</sup> Adotamos a denominação período receptivo, preferida pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômicos – OCDE – à expressão período crítico, que sugere uma concepção de que certas aquisições não feitas em determinada época estariam fadadas à perda definitiva.



#### 4.4 PERÍODO RECEPTIVO

Período receptivo é o período de tempo em que determinado fato biológico pode ocorrer de forma mais proveitosa que em outras ocasiões. Já foram reconhecidos períodos sensíveis para certos tipos de estímulos sensoriais, emocionais e cognitivos, o que significa haver diferentes períodos para diferentes circuitos cerebrais (OCDE, 2003).

A primeira infância, desde a gestação, é a fase mais receptiva do desenvolvimento biológico, cognitivo, emocional e social. Isso se deve ao fato de 90% das células do cérebro se formarem antes do nascimento e nos sete anos seguintes trilhões de conexões entre os neurônios serem feitas. Aos seis anos, o cérebro já desenvolveu amplos “contornos” ou características ou aspectos de auto-estima, de senso de moralidade, responsabilidade e empatia, capacidade de aprendizado e de relacionamento social e outros aspectos de sua personalidade (OCDE, 2003). A UNICEF (2001) chama a atenção para a importância desse período, afirmando que, apesar de oportunidades perdidas poderem ser compensadas, depois da vida intra-uterina e do nascimento, quanto mais tarde as crianças são estimuladas, mais difíceis são suas chances de recuperar o que foi perdido.

Contudo, enquanto há processos de aprendizagem que dependem de um determinado período para ter um desfecho satisfatório, outros, como algumas habilidades mentais (leitura, vocabulário e a habilidade para ver cores), aparentemente não passam por essas fases sensíveis em seu desenvolvimento (OCDE, 2003) ou não dependam tanto delas, já que o estabelecimento de períodos

receptivos para habilidades determinadas pode ser tema que ainda demande investigação.

Segundo a OCDE (2003), pesquisas sobre o aprendizado de uma segunda língua sugeriram que a aquisição de gramática é parcialmente condicionada ao tempo: mais cedo seria mais fácil e mais rápido. Isso sugere que o aprendizado de uma segunda língua seria mais efetivo na escola primária, em vez da secundária. Mas, no aspecto semântico, o cérebro continua a ser receptivo para o resto da vida.

O conhecimento dessas épocas de maior benefício para a aprendizagem pode ser útil para a educação e para a prática do ensino. De fato, o aprendizado acontece quando o cérebro encontra uma experiência relevante no tempo apropriado. Isso inclui um ambiente adequado e muitas vezes é condicionado pela idade. Mas o decorrer do tempo não é necessariamente desfavorável. Certas formas de aprendizagem melhoram ao longo da vida (OCDE, 2003).

Koizumi (1999 *apud* OCDE, 2003) sugere que o sistema educacional deveria ser reorganizado com base nos períodos receptivos, desde que eles sejam claramente definidos. Assim exemplifica que o primeiro estágio da educação é muito importante e deveria englobar educação musical e ensino das línguas para aproveitar o tempo em que o cérebro possui uma grande plasticidade.

Geake (2003) ressalta que, por volta de 12 anos de idade, o indivíduo apresenta intenso funcionamento da região frontal do cérebro, com estabelecimento de novas conexões. As atividades educacionais precisam incluir tarefas que exijam atenção concentrada, resolução de enigmas, planejamentos, reflexões.

Nesses períodos é fundamental que a estimulação ocorra para propiciar o maior desenvolvimento das habilidades cognitivas, motoras, emocionais e sociais do indivíduo.

## 5 INTRODUÇÃO A ALGUNS CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FUNÇÕES DO CÓRTEX CEREBRAL

### 5.1 SENSAÇÃO E PERCEPÇÃO

Lent (2004) estabelece a diferença entre sensação e percepção. **Sensação** é a capacidade de codificar aspectos da energia física e química presente no ambiente, representando-os por impulsos nervosos que são transmitidos pelos neurônios. A sensação viabiliza os sentidos, que são as diferentes modalidades sensoriais – visão, audição, tato, paladar, olfato, propriocepção, visceroccepção, equilíbrio, dor, pressão, temperatura – resultantes da tradução que o sistema nervoso faz das múltiplas formas de energia ambiental através dos sistemas sensoriais que representam os conjuntos de regiões do sistema nervoso, conectadas entre si, cuja função é possibilitar as sensações. A sensação propicia o controle da motricidade e atua na regulação das funções orgânicas e manutenção da vigília. A **percepção** resulta da sensação. Mas é mais complexa e ultrapassa os limites estruturais dos sistemas sensoriais, envolvendo outras partes do sistema nervoso, de funções não-sensoriais. É a capacidade de vincular outros aspectos existenciais aos sentidos, como o comportamento e o pensamento.

Enquanto os sentidos buscam nos oferecer o máximo de dados sobre o mundo real, a percepção é mais seletiva. Passa pelo filtro de vários mecanismos envolvendo diversas estruturas encefálicas: atenção, emoção, memória, sono, entre

outros. Isso acaba por tornar o mundo percebido diferente do mundo real, além de dar a cada indivíduo exclusividade sobre sua percepção (LENT, 2004).

## 5.2 ATENÇÃO

Atenção tem a ver com o direcionamento e a seletividade da percepção, mas não é fácil definir esse termo. Contudo, envolve as habilidades de detectar estímulos relevantes e processá-los e de filtrar os irrelevantes (ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004).

Estévez-González *et al* (1997, *apud* ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004) afirmam que “a complexidade conceitual, neuroanatômica e neurofuncional da atenção faz com que ela não possa ser reduzida a uma simples definição, nem estar ligada a uma única estrutura anatômica”. Isso explica o surgimento de diversos modelos propostos para o funcionamento da atenção.

Há autores que consideram o processo atencional efeito – resultado de atividades internas, como a própria percepção, a imaginação e a expectativa –, enquanto outros a vêem como causa – força que direciona a percepção (ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004).

A partir de alguns trabalhos relacionados por Andrade, Santos e Bueno (2004), um ponto a considerar-se sobre a atenção é que, quando são apresentados estímulos seqüenciais, é necessário um tempo para que haja o processamento de um para só então se processar o segundo.

Esses autores ainda ressaltam que, como a quantidade e variedade de informações ambientais é enorme, existem muitos estímulos que não recebem atenção, mas que influenciam claramente o desempenho.

Sabe-se que estímulos novos ativam e mobilizam os sistemas de atenção relacionados a circuitos da formação reticular e córtex parietal e frontal. Além disso, nossa atenção permite a identificação, dentre todos os estímulos sensoriais, daquele que, para o indivíduo, é mais relevante e importante para sua sobrevivência (ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004).

### **5.3 COGNIÇÃO**

Cognição é o ato ou processo de possuir ou adquirir conhecimento. Na psicologia, refere-se a processos de pensamento (KOLB e WHISHAW, 2002). Esses processos estão associados à manipulação de representações mentais das informações (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005). É um conceito que envolve diversas funções. Há funções da cognição propriamente ditas como cognitivas – percepção, memória, pensamento – e outras que regulam o comportamento humano – funções executivas e comportamento emocional (ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004).

As funções cognitivas executivas são operações que envolvem a formulação de um plano de ação baseado em experiências prévias e demandas do ambiente atual para produzir comportamentos que permitam a interação do indivíduo no mundo. Esse planejamento é passível de adaptações e de monitoramento e inclui

inferências, resolução de problemas, organização de estratégias, decisão, inibição de comportamentos indesejáveis, seleção, verificação (ANDRADE; SANTOS e BUENO, 2004).

O estudo de como a cognição se desenvolve busca compreender como os homens adquirem conhecimento ao longo da vida e é focado nas mudanças de pensamento, raciocínio e linguagem conforme a idade. Gazzaniga e Heatherton (2005) afirmam:

A percepção, a ação e o raciocínio surgem cedo no período de bebê e parecem ser capacidades inatas que se desenvolvem com o passar do tempo. As pesquisas sugerem que o desenvolvimento das habilidades cognitivas reflete um processo em que capacidades inatas do cérebro são ativadas e amadurecem conforme a criança em desenvolvimento interage com o ambiente, em vez de serem exclusivamente “ensinadas” pelos cuidadores ou por tentativa e erro. O cérebro está aparelhado para adquirir conhecimento e compreendê-lo dentro de uma série de limitações predeterminadas, mas nós ainda precisamos ser ensinados ou expostos a idéias como álgebra, física gramática e problemas lógicos para desenvolver essas habilidades inatas.

## 5.4 INTELIGÊNCIA

É difícil definir inteligência, pois, para o surgimento de uma tal definição, há que considerar todo o contexto em que esse atributo é tomado. Por isso, em diferentes épocas, surgiram diferentes modelos.

A visão clássica de inteligência envolve um aspecto quantitativo, mensurável, e uma comparação entre os indivíduos. Foi introduzida por Alfred Binet, que estabeleceu o conceito de idade mental e teste de QI – quociente de inteligência –

(ARMSTRONG, 2001) e, apesar de alguns outros modelos diferenciados terem sido propostos, foi ela que dominou de 1904 a meados da década de 80.

Mais recentemente, Gardner (1987 *apud* ARMSTRONG, 2001) abalou profundamente esse pensamento ao introduzir a idéia de inteligências múltiplas. Descreveu oito inteligências básicas: inteligência lingüística, inteligência lógico-matemática, inteligência espacial, inteligência corporal-cinestésica, inteligência musical, inteligência interpessoal, inteligência intrapessoal e inteligência naturalista. Para ele cada atividade baseada em uma dessas inteligências tem um desenvolvimento próprio, alcançando níveis de funcionamento próprios, mas toda pessoa possui as oito, podendo desenvolvê-las num nível de desempenho bastante satisfatório.

O que se destaca nessa nova visão é o reconhecimento das diferenças individuais. Se cada indivíduo percebe o mundo real à sua maneira, é legítimo que também o represente de um modo próprio, respondendo, ainda, de forma peculiar. Daí a idéia da inteligência multifacetada.

Mäder, Thais e Ferreira (2004) relatam que a busca por um conceito de inteligência percorreu vários caminhos, mas arriscam uma síntese deles:

[...] a inteligência reflete a soma das experiências aprendidas pelo indivíduo. As definições enfatizam a habilidade de se adaptar ao meio, de aprender, de pensar de modo abstrato (usando símbolos e conceitos). Embora seja possível mensurar vários aspectos da habilidade intelectual, uma pessoa inteligente é aquela que raciocina, se adapta ao meio, aprende, resolve problemas e também é criativa.



Do ponto de vista neurobiológico a inteligência seria o resultado da atividade conjunta de diversos circuitos neurais, especializados em diferentes funções tais como percepção, atenção, memória, linguagem, raciocínio lógico-matemático, emoção, motricidade, funções executivas dentre outras que, integradas, dariam ao indivíduo as habilidades anteriormente referidas. Kolb e Whishaw (2002) consideram provável que cada forma de inteligência que os seres humanos possuem esteja relacionada com determinadas organizações estruturais do cérebro. Eles afirmam que, com fundamento na visão hebbiana de inteligência (subdividida em inteligência inata, altamente hereditária, e inteligência observada, influenciada pela experiência e outros fatores que alteram a organização sináptica), a organização sináptica do cérebro desempenha um papel essencial, implicando não só a forma como as sinapses se dispõem, mas também a densidade glial..

## **5.5 MOTIVAÇÃO**

“A motivação pode ser vista como sendo uma obstinação, que depende de características emocionais como: entusiasmo e persistência diante dos reveses” (OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004).

Gazzaniga e Heatherton (2005) consideram os estados motivacionais energizantes e diretivos, uma vez que ativam ou estimulam comportamentos, orientando-os e sustentando-os, na medida em que ajudam as pessoas a persistirem em seus objetivos.

Comportamentos são motivados por instintos<sup>9</sup>, necessidades, impulsos e recompensas. Grandes pensadores atribuíram ao prazer o papel primário na motivação. Por outro lado, a motivação sofre influência de fatores cognitivos, sociais e culturais. E é altamente estimulada pela novidade e excitação (GAZZANIGA E HEATHERTON, 2005).

Estão envolvidos na motivação o hipotálamo – regulador de respostas para necessidades fisiológicas– e o córtex pré-frontal –envolvido na formulação de objetivos e auto-regulação (GAZZANIGA E HEATHERTON, 2005).

A motivação é de extrema importância para a aprendizagem. Na ausência de motivação, as emoções subtraem a concentração e a capacidade de ter em mente toda informação relevante para agir (GOLEMAN *apud* OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004). Portanto motivação guarda profunda relação com emoção e significação.

## 5.6 EMOÇÃO

“Atualmente, há um grande consenso acerca do papel essencial que as emoções [...] desempenham na compreensão de uma gama de fenômenos que ocorrem no cérebro e no corpo humano” (DAMÁSIO; BUCK e MATURANA *apud* OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004), e, segundo Oliveira, Campos e Borges (2004), até mesmo em comportamentos tidos como tipicamente racionais, como a

---

<sup>9</sup> Instintos, na acepção usada por Gazzaniga e Heatherton, são padrões de ação fixa, ações inatas, automáticas, desencadeadas por deixas externas.

resolução de problemas matemáticos, é a emoção que produz significação. Portanto, nessa visão, o conhecimento não se estabelece sem emoção.

Emoção é a disposição corporal dinâmica que especifica os domínios de ações nos quais o indivíduo opera em determinado momento (MATURANA *apud* OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004).

No processo cognitivo, o reconhecimento das emoções em tempo real possibilita ao indivíduo lidar melhor com elas e definir a auto-regulação da cognição. As emoções são inatas, mas sua regulação permite que o indivíduo se motive para algum fim e reconheça as emoções de outros indivíduos. Com essa interação é possível modificar o curso das ações, conforme elas se desenvolvem e modificar o conhecimento surgido na experiência (OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004).

A OCDE (2003, p.93) analisa a importância da questão emocional para a educação. A neurociência cognitiva, ao descobrir a base neural das variáveis que influem no desenvolvimento do cérebro infantil – inclusive nos aspectos emocionais–, pode contribuir para a evolução de sistemas educacionais em direção ao ensino do autocontrole e da competência emocional.

Os cientistas<sup>10</sup> (OCDE, 2003) já descobriram, por exemplo, que, quando as conexões de estruturas como amígdala e hipocampo são danificadas devido à tensão ou ao medo, o discernimento social é prejudicado, bem como o desempenho cognitivo, pois os aspectos emocionais da aprendizagem, como reação à recompensa e ao risco, ficam comprometidos.

A competência emocional, a ser trabalhada pela educação, inclui a capacidade de consciência de si mesmo, o autocontrole e a compaixão. Alguns

---

<sup>10</sup> Conforme relatado em *Understanding the brain: Towards a New Learning Science*, Joseph Lê Doux apresentou trabalho sobre amígdala durante o fórum de Nova York, em junho de 2000, organizado pela OCDE.

aspectos da emoção podem ser inatos e não mudam facilmente. Além disso, o processo emocional não é filtrado pela atenção, sendo descrito como impulsivo. A aquisição de competência emocional precisa da comunicação entre a parte emocional e a parte cognitiva do cérebro (OCDE, 2003).

Os aprendizes podem modificar suas condições emocionais construindo certas imagens mentais. O ato de imaginar ou visualizar ativa várias das regiões que são ativadas pela percepção. Criar imagens mentais ajuda a memória, ajuda a vencer fobias ou ansiedades.

Do ponto de vista educacional, a atenção, o autocontrole, a capacidade de adiar as recompensas são passos para o bom desempenho na aprendizagem.

## **5.7 PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO E SIGNIFICADO**

O cérebro é definido como um órgão de busca de significados. Para uma informação obtida adquirir maior significado é preciso que ela passe pela sensação, percepção, organização, processamento e uso. Gazzaniga e Heatherton (2005) mencionam um trabalho feito Fergus Craik e Lockharte na década de 70 que atribui a profundidade do significado a níveis de processamento da informação.

Ao codificar as informações que chegam, orientar a atenção para os seus aspectos relevantes, compará-las com os conhecimentos prévios e dividi-las em classes, o indivíduo levanta os pontos que se referem a ele ou aos conceitos que ele já tem e forma o significado. Quanto mais significado é elaborado, maior será o armazenamento das novas informações.

## 6 APRENDIZAGEM E MEMÓRIA

Aprendizagem e memória são conceitos que guardam estreita relação. Não há aprendizagem sem memória.

A aprendizagem implica uma mudança de comportamento resultante da experiência. Nela está implícita a relação entre o indivíduo e o seu meio ambiente, e dessa relação resulta uma plasticidade adaptativa que produz comportamentos e condutas. Daí por que a expressão do neurogenótipo depende, em parte, do aprendizado (DIAMENT, 1978 *apud* DIAMENT, 1983).

Sánchez (2003) afirma que a aprendizagem deve ser considerada um sistema extremamente vinculado com a atividade prática do homem, que, em última instância, condiciona suas possibilidades de conhecer, compreender e transformar a realidade objetiva.

Parece que a aprendizagem não dispõe de uma região específica do cérebro, mas resulta de operações neurofisiológicas, envolvendo fatores como: processos neurológicos, atividade bioelétrica, reações bioquímicas, arranjos moleculares nas células nervosas e gliais, eficiência sináptica, memória e metabolismo protéico, entre outros (FONSECA, 1980 *apud* DIAMENT, 1983).

A aprendizagem pode se dar de diversas formas. Algumas formas mais simples e comuns a várias espécies são: habituação, condicionamento clássico ou pavloviano, condicionamento operante ou skinneriano.

A habituação ocorre quando se repete um estímulo até que ele não cause mais efeito porque o organismo se habitua a ele. No condicionamento clássico, um estímulo inicialmente neutro é associado a um estímulo incondicionado que sempre

desencadeia uma resposta e, a partir da associação, o primeiro será condicionado e também produzirá a mesma resposta. Mas a resposta produzida será extinta, desaprendida, quando o estímulo condicionado se desassociar do incondicionado. No condicionamento skinneriano, um comportamento é obtido em troca de uma recompensa ou para evitar uma punição (CHAPOUTHIER, 2005).

Gazzaniga e Heatherton (2005, p. 199 e 202) ainda destacam a aprendizagem por observação (que envolve a imitação) e a aprendizagem vicária (que ocorre quando, a partir da observação, as pessoas identificam reforços ou punições e aprendem as conseqüências de uma ação).

É a memória da experiência que possibilita todo aprendizado.

Para Chapouthier (2005), memória “é a capacidade que certos seres vivos têm de armazenar no sistema nervoso dados ou informações sobre o meio que os cerca, para assim modificar o próprio comportamento”.

Jafard (2005) resume algumas classificações da memória em memória explícita (declarativa, consciente) ou memória implícita (não declarativa, inconsciente). A memória explícita se refere a fatos e eventos e corresponde a “saber que”; pode ser episódica (dos fatos vividos) ou semântica (dos significados das experiências). A memória implícita se refere a “saber como” e pode ser *priming* (de ativação: ativa a percepção inconsciente de estímulos recentes), procedural (de habilidades), de condicionamento clássico ou de aprendizado não associativo (hábito e sensibilização<sup>11</sup>).

Squire e Kandel (2005) afirmam que as habilidades motoras e perceptivo-motoras são inseridas em procedimentos que podem ser expressos pela ação, não pela declaração. Tentar expressar de forma consciente uma habilidade motora

---

<sup>11</sup> Sensibilização é o aumento em uma resposta comportamental após a exposição a um estímulo ameaçador (GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

durante a execução, por exemplo, piora o desempenho. Essa aprendizagem se reflete no aumento gradual da rapidez da resposta sempre que se mantém a mesma seqüência e, ao que parece, a atenção e a concentração só são necessárias no começo da aprendizagem.

Da mesma forma, em algumas aprendizagens cognitivas – como a construção de conceitos e categorias, em que manipulamos as informações pela avaliação das diferenças e similaridades entre as coisas – é possível adquirir conhecimentos de maneira implícita, quando a memória declarativa é falha (SQUIRE e KANDEL, 2005).

Quanto aos estágios, a memória pode ser de curtíssimo prazo (sensorial), de curto prazo (de trabalho) ou de longo prazo. A memória sensorial é incumbida do armazenamento breve de uma sensação captada pelos sentidos, em sua forma sensorial original, para que o estímulo seja percebido e trabalhado. A memória de trabalho permite reter a informação nova por tempo suficiente apenas para ser utilizada em processos como compreensão, aprendizagem e raciocínio. E a memória de longo prazo corresponde à retenção da informação por um período que vai de horas a toda uma vida (PETIT e ZAGO, 2005).

Jaffard<sup>12</sup> (2005) faz um histórico dos estudos sobre memória. Inicialmente refere-se à divisão da memória proposta por Edward Tolman na década de 50. Por essa proposta haveria uma memória automática, resultante da associação entre um estímulo e uma resposta, e outra cognitiva, capaz de produzir respostas adaptadas a novos problemas. A seguir, relata que os estudos foram se concentrando em investigações sobre os mecanismos de memória de curta e de longa duração, as quais partiram da busca por áreas especializadas em determinadas memórias até

---

<sup>12</sup> *Société des Neurosciences. Laboratoire Neosciences Cognitives- Université de Bordeaux. Pesquisa: Neurobiologie des systimes de mémoire, de leurs interactions, eteffets du vieillissement.*

chegar à proposta de Donald Hebb (1949), na qual a memória é distribuída em redes interconectadas que formam o conjunto das representações das experiências do sujeito e que codificam a informação modificando a eficácia de algumas conexões.

De fato, a idéia hebbiana do reforço das conexões relacionado à memória foi confirmada, mas há outros fatores envolvidos, principalmente ligados aos estados emocionais e ao sono, este invocado para explicar a consolidação de memórias pela reorganização de seus suportes.

Há evidências de que a consolidação mnemônica – cujo objetivo é formar a memória estável – ocorreria após a aquisição da informação, consistindo em um mecanismo temporal de repetição, associação e reorganização das informações. O hipocampo parece ter um papel-chave, porém transitório, na formação de memórias, participando da consolidação rápida e vinculando as informações registradas inicialmente no córtex (POTIER; BILLARD e DUTAR, 2005).

Quanto à elaboração de uma memória de longa duração, segundo Hennevin-Dubois<sup>13</sup> (2005), várias etapas são necessárias para sua organização, consolidação e manutenção. Isso pode levar horas ou dias para se completar. E já se sabe o efeito benéfico do sono: a retenção da aprendizagem é melhor seguida por um período de sono, quando os mecanismos da plasticidade neuronal operam. Os efeitos podem se expressar no comportamento.

De acordo com Fuster<sup>14</sup> (2005), todas as nossas lembranças e percepções são acionadas por redes de neurônios interconectadas que se situam em diversas

---

<sup>13</sup> Co-autora de *Quit dort me morise in: Recherche: Le sommeil et le revê.*

<sup>14</sup> *Oxford University Press: Professor, Department of Psychiatry and Biobehavioral Sciences, School of Medicine.* Autor de : *Córtex and Mind.*



regiões e sempre requerem as memórias anteriores. Desse modo,

“Cada nova percepção acrescenta conexões a uma rede em que já estão enraizadas as percepções anteriores [...] a nova experiência incide num substrato de memória antiga que ela ativa, seja porque se assemelha a esta, seja porque a ela se opõe. O novo evoca o antigo e, por associação e consolidação, torna-se parte integrante dele”.

Por isso Squire e Kandel (2005) disseram que a segurança de nossas ações depende da experiência passada e das oportunidades que tivemos de aprender e praticar.

Mesmo as primeiras memórias de um indivíduo se formam a partir de outras: as memórias inatas, ou seja, a soma das principais experiências adquiridas pela espécie ao longo de sua evolução na interação com o meio.

Entretanto há fatores que interferem na memória e na aprendizagem. A OCDE (2003) levanta quatro fatores principais que obstaculizam o aprendizado: falta de confiança e de auto-estima, motivação fraca, potencial inadequado, real ou percebido, e ausência de oportunidades do aprendizado. Destaca que os de maior peso são os dois primeiros. A confiança e auto-estima são necessárias para a motivação, embora não suficientes. E, para produzi-las, é preciso que o ambiente se caracterize por uma combinação de “alto desafio e baixa ameaça”. Dessa forma as aspirações são encorajadas, sem medo do fracasso, o que leva ao desejo real de aprender. O descontrole emocional e situações de estresse bem como rotinas enfadonhas interferem na habilidade para aprender.

Além desses importantes fatores, tendo em vista os estudos sobre o funcionamento e desenvolvimento cerebral, pode-se enfatizar que fatores genéticos são limitadores, mas não necessariamente determinantes em função da importância

dos aspectos ambientais na expressão genética (DIAMENT, 1978 *apud* DIAMENT, 1983; POSNER e ROTHBART, 2005).

Também é preciso lembrar que há aprendizados que dependem da experiência, sendo condicionados pela idade. Além disso, a falta de um ambiente apropriado ao aprendizado é prejudicial (UNICEF, 2001). Às vezes o tipo de escola, as condições materiais, situações de risco, problemas na capacitação dos professores e estratégias inapropriadas não oferecem a segurança que o indivíduo requer (UNESCO, 2005).

O tempo, que se relaciona também aos ritmos biológicos ou circadianos, é outro ponto de destaque. Horários e duração das atividades que excedam a capacidade de manter a concentração dos educandos têm resultados nocivos que influenciam diretamente a motivação (OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004).

Dificuldades podem surgir a partir de várias causas físicas: deficiência visual, auditiva, problemas neurológicos, alimentação inadequada, transtornos do sono, cansaço, transtornos psiquiátricos E ainda são relevantes os transtornos de comportamento (BALLONE, 2003).

Portanto, embora mais diretamente relacionada à memória, a aprendizagem é influenciada por variadas funções mentais e sofre a interferência de diversos fatores que devem ser considerados na abordagem das dificuldades de aprendizagem apresentadas por um indivíduo.

## 7 PIAGET E VYGOTSKY DIANTE DAS NEUROCIÊNCIAS

Com o avanço das neurociências novos fundamentos vieram a ratificar alguns conceitos piagetianos e vygotskyanos (COUTINHO e MOREIRA, 1992) e questionar outros.

Barros *et al.* (2004) estabelecem uma aproximação entre a teoria piagetiana e as neurociências. Sobretudo a neurociência cognitiva tem examinado continuamente a correlação neurobiológica do comportamento, firmando cada vez mais o conceito de inteligência como um prolongamento da adaptação biológica do organismo ao meio e demonstrando que, na filogênese, a ação precedeu a progressiva corticalização de funções. Hoje a maioria dos pesquisadores confirma o papel do controle biológico imposto pelo genótipo e o papel da informação ambiental na expressão gênica e outros eventos químicos e fisiológicos do desenvolvimento.

Piaget (1991) questionou a origem sensorial do conhecimento. De fato, pesquisas posteriores demonstraram que não se tem uma fotografia da realidade no cérebro, mas representações no lobo occipital (KANDEL; SCHWARTZ e JESSEL, 2000, *apud* BARROS *et al.*, 2004). A informação sensorial passa por uma extensa elaboração associativa e pela modulação atencional para ser incorporada à cognição (MESULAM, 1998 *apud* BARROS *et al.*, 2004). Novas estruturas são construídas nos diferentes estágios do desenvolvimento em resposta às estimulações do meio sobre o organismo, ocorrendo assimilações e acomodações que findam em equilibrações e tendem à conservação das estruturas (MANTOVANI DE ASSIS, 1976 *apud* BARROS *et al.*, 2004). O modelo neurobiológico atual sobre a mente tem interpretações comuns com a psicologia genética, uma vez que busca

explicá-la como resultado da interação corpo-cérebro (BARROS *et al.*, 2004).

A emoção, o humor e a motivação foram reconhecidos como moduladores do impacto neural dos eventos sensoriais, o que reflete no valor subjetivo desses eventos para o indivíduo (MESULAM, 1998 *apud* BARROS *et al.*, 2004).

Damásio (1996, 2001 *apud* BARROS *et al.*, 2004) afirmou que os sentimentos são as representações mentais das alterações fisiológicas que caracterizam as emoções. Além disso, propôs um modelo interacionista para a existência da mente. Desta forma retoma a questão piagetiana de que as funções mentais e a inteligência são um prolongamento de formas adaptativas do organismo.

Quanto a Vygotsky, segundo Andrade e Prado (2003), ele considerava três pontos fundamentais: o cérebro seria a base biológica das funções psicológicas, essas funções estariam fundadas nas relações sociais (históricas e culturais) e funções psicológicas superiores seriam mediadas simbolicamente. Luria prosseguiu na linha de Vygotsky e tornou-se um impulsionador das neurociências.

Tais idéias de Vygotsky foram confirmadas por evidências experimentais de que várias regiões do cérebro exibem mudanças moleculares, neuronais e estruturais em resposta a experiências como aprendizado, lesões e até terapias comportamentais (BUONOMANO e MERZENICH, 1998; TEMPLE *et al.*, 2003 *apud* ANDRADE e PRADO, 2003).

Para Vygotsky, o conhecimento é construído socialmente, e a percepção da realidade requer processos biológicos. Mas as informações são intermediadas e reelaboradas. É isso que caracteriza a individualidade. O homem é herdeiro de toda a evolução filogenética e cultural. A cultura fornece ao indivíduo os sistemas de representação da realidade, de significações. Vygotsky chega a afirmar que o desenvolvimento vem depois da aprendizagem. Não há estágios de

desenvolvimento por acumulação de processos elementares. Os indivíduos têm uma capacidade de aprendizagem, mas as curvas do aprendizado não coincidem com as do desenvolvimento, ocorrendo, às vezes, de forma não linear, havendo novas aquisições sem que se exija uma maturação mecânica.

Um ponto em que as neurociências têm confirmado o que disse Vygotsky, em desacordo com Piaget, é quanto à não-linearidade do desenvolvimento cognitivo em estágios gradativos que se manteriam sempre na mesma ordem. Experimentos com bebês mostram novos resultados que indicam que Piaget teria subestimado a capacidade infantil, uma vez que as crianças teriam noções intuitivas de física e matemática (BAILLARGEON, 1995; KELLMAN *et al.*, 1986; MEHLER *et al.*, 1988; WYNN, 1992 *apud* GAZZANIGA e HEATHERTON, 2005).

Houdé<sup>15</sup> (2005) relata que, em um desses trabalhos (MEHLER *et al.*, 1988), ao repetir-se um experimento feito por Piaget para avaliar a capacidade de conservação da memória numérica de crianças a partir de três anos, fichas foram substituídas por bombons; e o resultado, ao envolver a variável do interesse, foi totalmente diferente do obtido por Piaget. Afirma ainda que:

O problema enfrentado na tarefa de Piaget não é o ter ou não a noção de número na memória de trabalho, mas o de ser capaz de inibir uma estratégia perceptiva visual inadequada [...] o impacto da aprendizagem da inibição cognitiva sobre a reconfiguração do cérebro perceptivo em cérebro lógico desencadeia forte ativação de regiões classicamente dedicadas às emoções [...] Emoção e gulodice embaralham os estágios de Piaget.

---

<sup>15</sup> *Univers. Sorbonne: Groupe d' imagerie neurofonctionnelle.*

“Neo-piagetianos”, assim intitulados por Gazzaniga e Heatherton (2005), revisaram muito do pensamento de Piaget. Eles mantiveram suas idéias básicas, como a de que crianças estruturam o seu entendimento ativamente e de que o conhecimento progride do pré-concreto para o concreto e depois para o abstrato, mas concebem o cérebro como possuidor de diferentes módulos, responsáveis por diferentes habilidades, que podem ter desenvolvimento distinto.

Tanto Piaget quanto Vygotsky deram uma contribuição inestimável aos estudos do desenvolvimento, ainda que alguns de seus conceitos tenham sido reformulados. Porém Vygotsky permanece muito mais atual, visto que sua ênfase nas bases biológicas como suporte para a influência ambiental e reelaboração das informações pelo indivíduo vem sendo claramente reforçada pelos resultados dos estudos atuais. Contudo as neurociências permanecem em suas investigações sobre o tema.

## 8 NEUROCIÊNCIAS: IMPLICAÇÕES PARA A EDUCAÇÃO

Como diz GeaKe (2003), ainda é muito cedo para aplicar os resultados das pesquisas das neurociências na educação. Entretanto há evidências que embasam algumas práticas possíveis no cenário educacional.

O fato de as sinapses serem reforçadas pelo uso e perdidas pelo desuso, por exemplo, revela-nos a importância da repetição para tornar um aprendizado mais permanente: sem praticar não se chega à fixação do que foi aprendido. Contudo, como no desenvolvimento cerebral o indivíduo passa por estágios diferentes e como a atenção é despertada principalmente por novos estímulos, os currículos deveriam retomar conceitos importantes em novos contextos. É o que Geake (2003) denomina currículo tipo espiral, que sobrepõe a profundidade do conhecimento à sua largura.

Áreas sensoriais, áreas motoras, de decisão, de linguagem são requeridas todo o tempo nas diversas formas de aprendizagem (KOLB e WHISHAW, 2002). Daí por que a idéia de um currículo todo compartimentado não se aplica ao funcionamento cerebral. O ideal é a integração das disciplinas (OCDE, 2003).

É preciso reconhecer ainda as diferenças que ocorrem no desenvolvimento cerebral e as habilidades que se destacam em cada estágio. Não se pode mais conceber a idéia ingênua de um nível de inteligência fixo e imutável por toda uma vida (OCDE, 2003). Aproveitar os períodos receptivos do desenvolvimento também implica uma revisão curricular – englobando revisão de objetivos e disciplinas a serem trabalhados e de estratégias de ensino –, como propõe Koizumi (1999 *apud* OCDE, 2003).

Além disso, reforça-se a idéia de que as diferenças entre os indivíduos precisam ser respeitadas. E mais que respeitadas, precisam ser valorizadas. O bom desempenho nas diversas disciplinas precisa ser levado em conta, ao contrário do que ocorre em um sistema que aponta para a supremacia de determinadas disciplinas em detrimento das demais. Música, desenho, pintura, teatro, jogos, excursões, entre outras atividades, devem deixar de ter um papel secundário para dar oportunidade de expressão a partir de diferentes domínios sensoriais e das múltiplas inteligências (ARMSTRONG, 2001). Gray e Thompson (2004, p. 471) afirmam: “[...] individual differences are the rule, not the exception”<sup>16</sup>. Cada cérebro é único, na forma e na estrutura: sulcos, giros e córtex. Isso, e ainda as diferenças de estilos cognitivos, preferências de aprendizado, níveis de desempenho, resultados em avaliações, fundamenta a especificidade de cada cérebro (GEAKE, 2003). Daí a OCDE (2003) acrescentar também a idéia de que o currículo possa atender à demanda do aprendiz informado, desde que os aspectos essenciais estejam dominados.

O desenvolvimento cerebral dos mais jovens é particularmente sensível a ambientes estimulantes. Ausência de estimulação sensorial pode provocar atraso no desenvolvimento cognitivo. (LENT, 2005). Analogias criativas podem possibilitar a formação de novos significados. Por isso é fundamental aproveitar os conhecimentos prévios e explorar as experiências em grupos e a diversidade e riqueza dos ambientes.

Destaca-se no processo de aprendizagem a necessidade de direcionar a atenção. Além da estimulação sensorial, é necessário um uso adequado do tempo, que possibilite o descanso. Humor e relaxamento, algumas atividades corporais,

---

<sup>16</sup> “[...] diferenças individuais são a regra, não a exceção” (GRAY e Thompson, 2004, p. 471) (Tradução nossa).



música podem favorecer um resgate posterior da concentração. Também não se pode negar a influência sono, da alimentação, de doenças, do uso de drogas (KOLB e WHISHAW, 2002).

Não se deve esquecer que as áreas neurais de relevância para a memória estão integradas com os sistemas emocionais. Ao aprendermos um comportamento ou conceito novo, também aprendemos uma emoção anexa, geralmente relacionada com os nossos sentimentos sobre o contexto. Um conhecimento só terá significado se for relacionado com a emoção (OLIVEIRA; CAMPOS e BORGES, 2004).

Conceitos aprendidos quando jovem em contextos emocionais de fracasso ou de sucesso são resistentes a mudanças nos anos seguintes. O contexto ou o “clima emocional” (ROOLS, 1999 apud GEAKE, 2003) em que a aprendizagem ocorre pode ter implicações na avaliação – estresse exagerado e medo prejudicam a aprendizagem. Por isso não se pode subestimar o reconhecimento de mensagens não verbais. A identificação das emoções dos sujeitos (inclusive do professor) é fundamental para o seu direcionamento. E é preciso considerar disciplina mais como interesse e envolvimento do que como uma quietude que possa dissimular apatia. No momento em que se busca obter um aprendizado, é preciso estimular as emoções positivas (autoconfiança, motivação, autocontrole...), evitando as negativas. A velocidade do aprendizado também é fortemente influenciada por fatores emocionais e ambientais (OCDE, 2003).

Devido à relevância da emoção no aprendizado, o erro, ao ser corrigido com ênfase, somente reforça as conexões. É melhor evitar a ênfase do erro (uso e reforço das conexões) e promover a repetição do acerto. Por isso a educação corretiva é tão difícil. Desaprender requer vencer a força de conexões consolidadas,

o que só pode ser feito deixando que elas caiam no desuso, enquanto novas conexões são repetidamente utilizadas.

Um nível de estresse leve ou moderado chega a ser útil, já que melhora a memória por meio da estimulação decorrente da emoção envolvida. Porém o estresse prolongado mantém altos os níveis de substâncias excitatórias – o hormônio adrenocorticotrófico, que estimula o córtex supra-renal a produzir hormônios glicocorticóides – que resultam em problemas com a memória explícita, além de provocar atrofia de dendritos e inibir a neurogênese no hipocampo (SAPOLSKY, 2005).

A OCDE (2003) propõe uma ampla reflexão sobre alguns conceitos tradicionais na educação: além do currículo, escolas, salas de aula, professores (da forma como são conhecidos), inteligência, habilidade, estágios de desenvolvimento.

Propõe também uma revisão dos objetivos da educação. Uma nova ordenação de prioridades, ao menos. De forma que se preocupe com a formação do indivíduo primeiramente para atitudes, depois habilidades e, por fim, conhecimentos. Isso porque a ordem hoje colocada é a inversa. E, com o avanço das comunicações, o conhecimento está fartamente disponibilizado. É preciso educar as pessoas tão-somente para saber onde encontrá-lo e como utilizá-lo: aprender a conhecer, aprender a aprender<sup>17</sup>. O desenvolvimento de habilidades tornou-se mais importante para a afirmação do indivíduo: aprender a fazer. E, por outro lado, as atitudes tornaram-se ainda mais fundamentais. São elas que distinguem o indivíduo como pessoa, dando-lhe o comando de seu patrimônio cognitivo e emocional: aprender a viver juntos e aprender a ser. Essa revisão dos objetivos da educação demanda

---

<sup>17</sup> UNESCO – Comissão Internacional sobre Educação para o Século XXI: Os quatro pilares da educação. *In*: relatório "Educação: um tesouro a descobrir" (Delors et al., 1996).

investimento cuidadoso na orientação educacional (OCDE,2003).

O primeiro passo para uma nova agenda educacional, nessa proposta da OCDE (2003), é priorizar o “aprendizado por toda uma vida para todos”. A demanda por educação cresce a cada dia. Indivíduos criam seus próprios planos pessoais de aprendizagem.

Como não se pode negar que, até certo ponto, temos nosso potencial de aprendizagem condicionado pela herança genética, está mais do que na hora de pensarmos em educação já durante a formação neural na gestação e nos primeiros anos da infância. Programas educacionais precisam incluir a gestante – ou melhor, os pais, principalmente quando adolescentes, e todos os envolvidos com o nascimento da criança, familiares, comunidade e profissionais da saúde e da educação – e a criança desde os estágios iniciais da vida (UNICEF, 2001). E, se o que se propõe é o aprendizado por toda uma vida para todos, é preciso também não esquecer adultos, idosos e pessoas com necessidades especiais nas diversas faixas etárias, uma vez que até hoje a educação tem focado prioritariamente crianças maiores e jovens. Os programas devem apontar intervenções possíveis e necessárias, envolvendo as áreas de saúde e assistência social e ambientes diferenciados: a escola é só uma das alternativas. (UNICEF, 2001).

Os custos com modelos educacionais tão abrangentes podem, à primeira vista, parecer altos, mas é possível que se exija mais uma mudança de visão estrutural do que propriamente, investimentos absurdos. Além disso, estudos relatados pela UNICEF (2001) avaliaram o quanto se pode lucrar com o investimento preventivo nos cuidados gestacionais e na primeira infância.

Se considerarmos que recentes resultados de investigações das

neurociências apontaram para certa plasticidade cerebral ao longo da vida (MIRABELLA, 2005)<sup>18</sup> e mais o peso do fator motivação, talvez possamos estender parcialmente a avaliação da UNICEF aos demais indivíduos e antever o quanto se pode ganhar em saúde e qualidade de vida preservando o direito à educação em todas as faixas etárias e o “diálogo entre as gerações” (OCDE, 2003). É preciso reavaliarmos nossos conceitos, principalmente com relação a envelhecimento.

Diante de todos os fatores que podem influenciar a aprendizagem e, sobretudo, diante da especificidade da aprendizagem de cada indivíduo, é preciso maior prudência com relação ao que se considera que sejam dificuldades e transtornos de aprendizagem. Dificuldades e facilidades todos as tem, em maior ou menor grau, em uma ou outra área, em uma ou outra época. Frequentemente é preciso recorrer a profissionais de diferentes áreas, mas o que importa é que a educação, apesar e por causa das dificuldades, deve ser para todos, por toda a vida.

Por fim, diante de todas as considerações feitas, é possível perceber que as descobertas das neurociências podem contribuir muito para a educação. Ressalte-se que ainda há muito a descobrir sobre os mecanismos cerebrais, que na verdade só começam a ser desvendados. O caminho da investigação científica, por vezes, confunde-se com o próprio caminho da aprendizagem. Há uma série de fatores que podem interferir nos resultados, é preciso haver inúmeras repetições, novos contextos precisam ser testados para detectar variáveis espúrias e, às vezes, é até mesmo necessário desaprender. Tudo isso exige muita dedicação, discussão, criticidade. Requer a parceria dos profissionais das diversas áreas envolvidas e só a custa de longo tempo resultará em aplicação da pesquisa básica.

---

<sup>18</sup> *Università di Roma “La Sapienza”, Dip.to di Fisiologia Umana e Farmacologia.*

## 9 CONCLUSÃO

Nesta revisão buscou-se estabelecer uma aproximação do educador/pedagogo com os fundamentos neurobiológicos do processo de ensino-aprendizagem. A interface educação/neurociências certamente apresenta alguns desafios, sobretudo pela falta de fundamentação neurobiológica na formação do educador. Por isso neste trabalho foram apresentados, por um profissional da educação, os aspectos fundamentais para a compreensão da estruturação e funcionamento do sistema nervoso, tendo sido descritos, sucintamente, o desenvolvimento ontogenético do cérebro e fatores que o influenciam, bem como o fenômeno da neuroplasticidade. Também foram apresentados alguns conceitos básicos sobre funções do córtex cerebral e descritos alguns mecanismos de aprendizagem e memória além de alguns fatores que interferem nesses processos. A seguir, as teorias de Piaget e Vygotsky foram brevemente abordadas sob o ponto de vista de estudos recentes das neurociências e algumas considerações foram feitas com vistas a possibilitar uma reflexão sobre a prática educacional.

O trabalho permitiu-nos concluir que:

1. a apropriação, pelo educador, da linguagem da neurobiologia para compreensão das contribuições das neurociências para a educação é possível;
2. o conhecimento sobre os mecanismos neurobiológicos que fundamentam o processo ensino-aprendizagem permitem ao educador compreender estratégias pedagógicas utilizadas em sua prática, tornando-o mais autônomo e criativo no desenvolvimento do seu trabalho;

3. o conhecimento da neurociência da aprendizagem possibilita ao educador compreender mais plenamente teorias da educação propostas por autores de formação biológica;

4. o conhecimento da neurociência da aprendizagem possibilita ao educador sugerir e, assim, contribuir, de forma bem fundamentada, tanto para definição de políticas educacionais como para a elaboração de perguntas a serem investigadas pelas neurociências que visam solução de questões da educação, caracterizando uma perspectiva transdisciplinar da educação.

“Não, não tenho caminho novo.

O que tenho de novo

é o jeito de caminhar.”

Thiago de Melo

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, Paulo Estevão; PRADO, Paulo Sérgio T. Psicologia e Neurociência cognitvas: alguns avanços recentes e implicações para a educação. *Interação em Psicologia*, 7(2), p.73-80 1, 2003. Disponível em <<http://calvados.c3sl.ufpr.br/psicologia/viewarticle>>. Acesso em: 26 out. 2005.
- ANDRADE, V.M. Vivian; SANTOS, F. H. Heloísa dos; BUENO, Orlando F.A. *Neuropsicologia hoje*. São Paulo: Artes Médicas. 2004. 454 p.
- ARMSTRONG, T. Os fundamentos das Inteligências Múltiplas. *In* : ARMSTRONG, T. *Inteligências Múltiplas na sala de aula*. 2ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001. 192 p.
- BAILLARGEON, R.; NEEDHAM, A.; DEVOS, J. *The development of young infants' intuitions about support*: Early Development and Parenting, (12), p. 69-78, 1992 *apud* GAZZANIGA, Michael S.; HEATHERTON, Toddy F. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. *Ciência psicológica: Mente, cérebro e comportamento*. 2imp. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2005. 624 p.
- BALLONE, G.J. Dificuldades de Aprendizagem. Rev. 2003. Disponível em: <<http://psiweb.med.br/infantil/aprendiza.html>>. Acesso em 25 out.2005
- BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)>. Acesso em: 20 set. 2005.
- BEIRÃO, P. S. L.; GUERRA, L. B. Propriedades emergentes na biologia: Vida e consciência. *In*: DOMINGUES, Ivan. *Conhecimento e Transdisciplinaridade II: Aspectos Metodológicos*. Belo Horizonte: UFMG, 2005. p. 293-317.
- BOWER J.M.; PARSONS L.M. Rethinking the [quot] lesser brain [quot]. *Sci Am* , 289(2): 50-7, 2003 Aug. Base de Dados Medline. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>>. Acesso em: 12 out. 2005.
- \_\_\_\_\_. O cerebelo reconsiderado. Tradução de Carolina Livi. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 3, p.15-21, 2005 (Especial Percepção).
- BUCK, R. The biological affects: A Typology. *Psychological Rewiew*, April 1999, p. 301-336.
- BUONOMANO, D. V.; MERZENICH, M. M. Cortical plasticity: From synapses to maps. *Annual Review of Neuroscience*, n. 21, p. 149-186, 1998 *apud* ANDRADE, Paulo Estevão; PRADO, Paulo Sérgio T. Psicologia e Neurociência cognitvas: alguns avanços recentes e implicações para a educação. *Interação em Psicologia*, 7(2), p.73-80 1, 2003. Disponível em <<http://calvados.c3sl.ufpr.br/psicologia/viewarticle>>. Acesso em: 26 out. 2005.
- CARLSON, N.R. *Physiology of Behavior*. 7th ed. Boston: Allyn & Bacon. 2000. 720 p. *apud* FERRARI, Elenice A. de Moraes; FALEIROS, Margarete Satie S. Toyoda;

CERUTTI, Suzete Maria. Plasticidade Neural: Relações com o Comportamento e Abordagens Experimentais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*. Brasília: Universidade de Brasília, v. 17, n. 2, p. 187-194, maio/ago. 2001.

CHAPOUTHIER, Georges. Registros evolutivos. Tradução de Alexandre Massella. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 9-12, 2005 (Especial Memória).

DAMÁSIO, A. *O Mistério da Consciência: do corpo e das emoções ao conhecimento de si*. São Paulo: Companhia das Letras, 2000 *apud* OLIVEIRA, Renata B.; CAMPOS, Luciana M. A.; BORGES, Henrique E. Bases Biológicas das emoções e afetos, sua relação com o processo cognitivo e com a modelagem de agentes de software cognitivos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAIS (SBRN)*, 8. São Luis, 2004. Disponível em <<http://psi.lsi.cefetmg.br/lsi/publicacoes>>. Acesso em: 24 out. 2005.

\_\_\_\_\_. *Fundamental feelings*. *Nature*. p. 413-781. 2001 *apud* BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)>. Acesso em: 20 set. 2005.

\_\_\_\_\_. *O erro de Descartes: emoção, razão e o cérebro humano*. Tradução de Dora Vicente e Georgina Segurado. São Paulo> Companhia das Letras, 1996 *apud* BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)>. Acesso em: 20 set. 2005.

DIAMENT, A. J. Neurofisiologia da aprendizagem. *Pediatria (São Paulo)*, n. 5, p. 83-93, 1983. Disponível em <<http://www.pediatrasiapaulo.usp/br>> Acesso em : 24 out. 2006.

\_\_\_\_\_. Bases do desenvolvimento neurológico. *Arq. de Neuropsiquiat. (São Paulo)*, n. 36, p. 285, 1978 *apud* DIAMENT, A. J. Neurofisiologia da aprendizagem. *Pediatria (São Paulo)*, n. 5, p. 83-93, 1983. Disponível em <<http://www.pediatrasiapaulo.usp/br>> Acesso em : 24 out. 2006.

ESTÉVEZ-GONZÁLEZ, A.; GARCIA-SÁNCHEX, C.; JUNQUÉ, C. La atención: una compleja función cerebral. *Revista de Neurologia*, 25(148), p.1989-1997, 1997 *apud* ANDRADE, V.M. Vivian; SANTOS, F. H. Heloísa dos; BUENO, Orlando F.A. *Neuropsicologia hoje*. São Paulo: Artes Médicas. 2004. 454 p.

FERRARI, Elenice A. de Moraes; FALEIROS, Margarete Satie S. Toyoda; CERUTTI, Suzete Maria. Plasticidade Neural: Relações com o Comportamento e Abordagens Experimentais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*. Brasília: Universidade de Brasília, v. 17, n. 2, p. 187-194, maio/ago. 2001.

FONSECA, V. da. Visão integrada da aprendizagem. *Revista Pestalozzi*, 9:30 1980 *apud* DIAMENT, A. J. Neurofisiologia da aprendizagem. *Pediatria (São Paulo)*, n. 5, p. 83-93, 1983. Disponível em <<http://www.pediatrasiapaulo.usp/br>> Acesso em : 24 out. 2006.



FUNNELL, M.G.; CORBALLIS P.M.; GAZANNIGA M.S. Temporal discrimination in the split brain. *Brain Cogn*, 53(2): 218-22, 2003 Nov. Base de Dados Medline. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>>. Acesso em: 12 out. 2005.

FUSTER, Joaquín. Arquitetura da rede. Tradução de Alexandre Massella. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 26-31, 2005 (Especial Memória).

GAZZANIGA, Michael S. O cérebro dividido. Tradução de Priscila Podboi Adachi. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 3, p. 8-13, 2005 (Especial Percepção).

GAZZANIGA, Michael S.; HEATHERTON, Toddy F. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. *Ciência psicológica: Mente, cérebro e comportamento*. 2imp. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2005. 624 p.

GARDNER, H. *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York Basic Books. 1983 *apud* ARMSTRONG, T. Os fundamentos das Inteligências Múltiplas. *In*: ARMSTRONG, T. *Inteligências Múltiplas na sala de aula*. 2ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001. 192 p.

\_\_\_\_\_. Múltiplas perspectivas. Tradução de Astrid Dantino. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 1, p. 16-21, 2005 (Especial Inteligência).

GEAKE, John G. Adapting Middle Level Educational Practices To Current Research on Brain Functioning. *Journal of the New England League of Middle Schools*, 15(2) p. 6-12, 2003.

GEAKE, John G.; COOPER, Paul. Cognitive Neuroscience: implications for education? *Westminster Studies in Education*, v. 26, n. 1, p. 7-20, June 2003.

GEULA, C.; MESULAM, M. Cholinergic systems and related neuropathological predilection patterns in Alzheimer disease. *In*: TERRY, R. D.; KATZMAN, R. e BICK, K. (Ed.). *Alzheimer disease*. New York: Raven Press. 1994. p. 263-291.

GOLEMAN, D. *Inteligência Emocional*. Tradução de Marcos Santarrita. Rio de Janeiro: Objetiva, 1995. 375 p. *apud* OLIVEIRA, Renata B.; CAMPOS, Luciana M. A.; BORGES, Henrique E. Bases Biológicas das emoções e afetos, sua relação com o processo cognitivo e com a modelagem de agentes de software cognitivos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAIS (SBRN), 8. São Luis, 2004. Disponível em <<http://psi.lsi.cefetmg.br/lsi/publicacoes>>. Acesso em: 24 out. 2005.

GRAY, Jeremy R.; THOMPSON, Paul M. Neurobiology of intelligence: Science an ethics. *Nature Rewiew Neuroscience*. v. 5, p. 471-480, June 2004.

HENNEVIN-DUBOIS, Elizabeth. Memorizar dormindo? Tradução de Alexandre Massella. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 22-25, 2005 (Especial Memória).

HENSCH TK. Critical period regulation. *Annu Rev Neurosci.*, 27:549-79. 2004. Base de Dados PubMed - indexed for MEDLINE. Review. PMID: 15217343. Acesso em: 4 out. 2005.

HOUDÉ, Olivier. Selva das recordações. Tradução de Luciano Vieira Machado. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 66-67, 2005 (Especial Memória).

ITO M. 'Nurturing the brain' as an emerging research field involving child neurology. *Brain Dev.*, 26(7):429-33. Oct. 2004. Base de Dados PubMed - indexed for MEDLINE. Review. PMID: 15351077. Acesso em: 4 out. 2005.

JAFFARD, Robert. A diversidade da memória. Tradução de Alexandre Massella. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 5-7, 2005 (Especial Memória).

KANDEL, E. R.; SCHWARTZ, J.H.; JESSEL, T.M. *Principles of neural science*. New York: International Edition Mc Graw Hill, 2000 *apud* BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)> Acesso em: 20 set. 2005.

KANDEL E. R. Eric Kandel: a lige in learning e memory. *Drug Discov Today*, 10(5): 2005 Mar 1. Base de Dados Medline. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>>. Acesso em: 12 out. 2005.

KELLMAN, P. J.; SPELKE, E. S.; SHORT, K. R. Infant perception of object unity from translatory motion in depth and vertical translation. *Child Development*, 57(1), p. 72-86, 1986 *apud* GAZZANIGA, Michael S.; HEATHERTON, Toddy F. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. *Ciência psicológica: Mente, cérebro e comportamento*. 2imp. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2005. 624 p.

KOIZUME, H. A Practical Approach towards Trans-Disciplinary Studies for the 21 st Century: the Centennial of de Discovery of Radium by the Curies. *J. Seizon and Life Sci.*, 9(B), p.19-20, 1999 *apud* ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICOS – OCDE. *Compreendendo o cérebro: Rumo a uma nova ciência da aprendizagem*. Tradução de Eliana Rocha. São Paulo: Senac. 2003. 173 p.

\_\_\_\_\_. The concept of 'developing the brain': a new natural science for learning and education. *Brain Dev.*, 26(7):434-4. Oct. 2004. Base de Dados PubMed - indexed for MEDLINE. Review. PMID: 15351078. Acesso em: 4 out. 2005.

KOLB, Bryan; WHISHAW, Ian Q. *Neurociência do Comportamento*. Tradução de All Tasks Traduções Técnicas. São Paulo: Manole, 2002. 601 p.

KROLL, N. E. *et al.* The neural substrates of visual implicit memory: do two hemispheres play different roles? *J Cogn Neurosci*, 15(6): 833-42, 2003 Aug 15. Base de Dados Medline. Disponível em: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/>>. Acesso em: 12 out. 2005.

LENT, Roberto. *Cem Bilhões de Neurônios: Conceitos Fundamentais de Neurociência*. Ed. rev. e ampl. São Paulo: Atheneu, 2004. 698 p.

MACHADO, Ângelo B.M. *Neuroanatomia Funcional*. 2ed. São Paulo: Atheneu, 2005. 363 p.

MANTOVANI DE ASSIS, O. Z. *A solicitação do meio e a construção das estruturas lógicas elementares na criança*. Campinas, 1976. (Tese de doutorado), Universidade Estadual de Campinas *apud* OLIVEIRA, Renata B.; CAMPOS, Luciana M. A.; BORGES, Henrique E. Bases Biológicas das emoções e afetos, sua relação com o processo cognitivo e com a modelagem de agentes de software cognitivos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAIS (SBRN)*, 8. São Luis, 2004. Disponível em <<http://psi.lsi.cefetmg.br/lsi/publicacoes>>. Acesso em: 24 out. 2005.

MADER, Maria Joana; THAIS, Maria Emília Rodrigues de Oliveira; FERREIRA, Maria Gabriela Ramos. Inteligência: um conceito amplo. *In: ANDRADE, V.M. Vivian; SANTOS, F. H. Heloísa dos; BUENO, Orlando F.A. Neuropsicologia hoje*. São Paulo: Artes Médicas. 2004. p. 61-76.

MATURANA, H.R. *Cognição ciência e vida cotidiana*. MAGRO, C.; PAREDES, V.(Org.). Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2001. 182 p. *apud* OLIVEIRA, Renata B.; CAMPOS, Luciana M. A.; BORGES, Henrique E. Bases Biológicas das emoções e afetos, sua relação com o processo cognitivo e com a modelagem de agentes de software cognitivos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAIS (SBRN)*, 8. São Luis, 2004. Disponível em <<http://psi.lsi.cefetmg.br/lsi/publicacoes>>. Acesso em: 24 out. 2005.

MEHLER, J. *et al.* A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition*, n. 29, p. 143-178, 1988 *apud* GAZZANIGA, Michael S.; HEATHERTON, Toddy F. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. *Ciência psicológica: Mente, cérebro e comportamento*. 2imp. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2005. 624 p.

MESSULAM, M-M. From sensation to cognition. *Brain*. n. 121, p.1013-1052, 1998 *apud* BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)>. Acesso em: 20 set. 2005.

MIRABELLA, Giovanni. O cérebro que aprende. Tradução de Alessandra Pavesi *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 3, p. 40-47, 2005 (Especial Percepção).

OLIVEIRA, Renata B.; CAMPOS, Luciana M. A.; BORGES, Henrique E. Bases Biológicas das emoções e afetos, sua relação com o processo cognitivo e com a modelagem de agentes de software cognitivos. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAIS (SBRN)*, 8. São Luis, 2004. Disponível em <<http://psi.lsi.cefetmg.br/lsi/publicacoes>>. Acesso em: 24 out. 2005.

ORGANIZAÇÃO DE COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICOS – OCDE. *Compreendendo o cérebro: Rumo a uma nova ciência da aprendizagem*. Tradução de Eliana Rocha. São Paulo: Senac. 2003. 173 p.

PETIT, Laurent; ZAGO, Laure. Bases neurais da curta duração. Tradução de Luciano Vieira Machado. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 80-83, 2005 (Especial Memória).

PHELPS, C.H. Neural plasticity in aging and Alzheimer s disease: Some selected comments. *Progress In Brain Research*, n. 86, p. 3-10, 1990 *apud* FERRARI, Elenice A. de Moraes; FALEIROS, Margarete Satie S. Toyoda; CERUTTI, Suzete Maria. Plasticidade Neural: Relações com o Comportamento e Abordagens Experimentais. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*. Brasília: Universidade de Brasília, v. 17, n. 2, p. 187-194, maio/ago. 2001.

PIAGET, Jean. *Psicologia e Epistemologia: para uma teoria do conhecimento*. Tradução de Maria de Fátima Bastos. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1991 *apud* BARROS, Carlos Eduardo *et al.* O organismo como referência fundamental para a compreensão do desenvolvimento cognitivo. *Revista Neurociências*. v. 12, n. 4, 2004. Disponível em: <[www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12\\_4/desnv\\_cognitivo.htm](http://www.unifesp.br/dneuro/neurociencias/vol12_4/desnv_cognitivo.htm)>. Acesso em: 20 set. 2005.

POSNER, Michael I.; ROTHBART, Mary K. Influencing brain networks: implications for education. *TRENDS in Cognitive Sciences*. v. 9, n. 3, p. 99-103, March 2005.

POTIER, Brigitte; BILLARD, Jean-Marie; DUTAR, Patrick. Arquivo cerebral. Tradução de Alexandre Massella. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 14-21, 2005 (Especial Memória).

ROBERTSON LT. Memory and the brain. *J Dent Educ.*,66(1):30-42. Jan. 2002. Base de Dados PubMed - indexed for MEDLINE. Review. PMID: 12358099. Acesso em: 4 out. 2005.

ROLLS, E. *The brain and emotion*. Oxford University Press: Oxford. 1999 *apud* GEAKE, John G. Adapting Middle Level Educational Practices To Current Research on Brain Functioning. *Journal of the New England League of Middle Schools*, 15(2) p. 6-12, 2003.

SÁNCHEZ, Ileana Alfonso. Elementos conceptuales básicos Del proceso de enseñanza-aprendizaje. *Acimed*, 11(6), nov-dec. 2003. Base de Dados Lilacs. Disponível em: <[wotan.liu.edu/doi/data/juljuljub1.html](http://wotan.liu.edu/doi/data/juljuljub1.html)>. Acesso em: 25 jul. 2005.

SAPOLSKY, Robert M. Memórias estressadas. Tradução de Reinaldo José Lopes. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 146, p. 24-29, mar., 2005.

SQUIRE, Larry; KANDEL, Eric. Aprendizado das Habilidades. Tradução de Luciano Vieira Machado. *Viver mente & cérebro*. São Paulo: Ediouro, n. 2, p. 58-65, 2005 (Especial Memória).

TEMPLE, E. et al. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of National Academy of Science*, 100 (5), 2003 *apud* ANDRADE, Paulo Estevão; PRADO, Paulo Sérgio T. *Psicologia e Neurociência cognitvas: alguns avanços recentes e implicações para a*

educação. *Interação em Psicologia*, 7(2), p.73-80 1, 2003. Disponível em <<http://calvados.c3sl.ufpr.br/psicologia/viewarticle>>. Acesso em: 26 out. 2005.

UNESCO MARCO CONCEITUAL. Disponível em: <<http://innovemos-p.unesco.cl/epd/marco.act>>. Acesso em: 25 out 2005.

UNICEF SITUAÇÃO DA INFÂNCIA BRASILEIRA 2001. Tempo de semear, 2001. Disponível em: <[www.unicef.org/brazil/sib2001/cap1.htm](http://www.unicef.org/brazil/sib2001/cap1.htm)>. Acesso em: 25 out. 2005.

WYNN, K. Addition and subtraction by human infants. *Nature*, n. 358, p. 749-750, 1992 *apud* GAZZANIGA, Michael S.; HEATHERTON, Toddy F. Tradução de Maria Adriana Veríssimo Veronese. *Ciência psicológica: Mente, cérebro e comportamento*. 2imp. rev. e ampl. Porto Alegre: Artmed, 2005. 624 p.