

**RECONHECIMENTO DAS INVARIÂNCIAS POR NEURÔNIOS
RECICLADOS**

Leonor Scliar-Cabral¹

RESUMO

Neste artigo, abordarei várias evidências empíricas trazidas pelas neurociências que comprovam a base neuropsicológica de construtos defendidos pela linguística moderna, em particular, o de invariância. A ênfase, porém, será voltada para a realidade psicológica das invariâncias dos traços que constituem as letras, a partir dos vários experimentos que têm sido realizados mais recentemente pelas neurociências. Abordarei a invariância espacial e a invariância de fonte e encerro o artigo com a descrição dos traços invariantes que diferenciam as letras no alfabeto latino.

Palavras-chave: Região occípito temporal ventral esquerda. Invariâncias dos traços das letras. Grafema. Fonema.

INTRODUÇÃO

Neste artigo, abordarei várias evidências empíricas trazidas pelas neurociências que comprovam a base neuropsicológica de construtos defendidos pela linguística moderna, em particular, o de invariância. Com efeito, desde o início do século XX que a linguística propôs o conceito de fonema, a unidade que cobria todas as realizações possíveis tanto em nível da recepção quanto da produção da fala, com a função de distinguir significados, como no par mínimo /'karu/ oposto a /'kaRu/, independentemente do fato de /R/ poder se realizar como fricativa velar surda, vibrante ápico-alveolar múltipla, uvular ou glotal aspirada, no PB. A noção de

fonema foi ampliada como sendo um feixe de traços distintivos, esses últimos também invariantes (JAKOBSON, 1949).

A ênfase do artigo, porém, será voltada para a realidade psicológica das invariâncias dos traços que constituem as letras, a partir dos vários experimentos que têm sido realizados mais recentemente pelas neurociências. Com efeito, as evidências obtidas por Polk e Farah (2002) favorecem a hipótese de uma área que processa a forma abstrata, não perceptual da palavra.

Uma das razões para o grande interesse que tais descobertas suscitam reside no fato de esclarecerem quais as dificuldades com as quais se defrontam os aprendizes de um sistema escrito, particularmente nos sistemas alfabéticos e como contorná-las. Repassarei a descoberta de uma dessas dificuldades que deu origem à corrente do desenvolvimento da consciência fonológica, como requisito à alfabetização.

1. O DESMEMBRAMENTO DA CADEIA DA FALA

Algumas dificuldades para aprender a ler se tornaram bastante conhecidas a partir do debate travado no seio do seminário «*The Relationship between Speech and Learning to Read*» (RSLR), que teve lugar em Belmont, nos Estados Unidos, em 16 de maio de 1971 (KAVANAGH; MATTINGLY, 1972), ou seja, que para aprender a ler nos sistemas alfabéticos, o aprendiz precisa saber como desmembrar a cadeia da fala em palavras (separadas por espaços em branco na escrita) e a sílaba em suas unidades constitutivas, a fim de associá-las aos seus respectivos grafemas (compostos por uma ou mais letras). Essa última condição estimulou psicólogos e educadores a pesquisarem como desenvolver a consciência fonológica e a negarem a validade de qualquer método baseado no reconhecimento global de palavras ou textos.

Contudo, como ainda há muita resistência entre educadores que comandam a política da alfabetização, existe a necessidade de comprovar a validade da consciência fonológica com os dados empíricos agora robustos das neurociências.

2. O PROCESSAMENTO SIMÉTRICO DO SINAL VISUAL

As neurociências demonstraram uma outra enorme dificuldade para aprender a ler: nos mamíferos, os neurônios são programados para processar o sinal visual simetricamente, pois, para a sobrevivência, é economicamente mais eficiente, para o reconhecimento dos objetos, descartar as diferenças que eventualmente possam existir nos sinais entre a direção para a esquerda ou para a direita, para cima ou para baixo e, assim, eles são reconhecidos como simétricos. Mas não é isto o que ocorre no reconhecimento das letras: os neurônios **precisam aprender** como reconhecer tais diferenças, que são absolutamente pertinentes para aprender a ler. A necessidade é dramática no caso das letras em espelho, como **b/d, p/q, b/p, d/q, n/u, a/e**. Graças à plasticidade neuronal, os neurônios podem ser reciclados (ASSAF; BASSER 2004; BARLASSOV; WEINSTEIN; HOCHSTEIN 2004; CHANGEUX 2007: 18; DEHAENE 2007: 27; HAREL *et al.* 2004; SPERBER 1996), se o contexto de ensino-aprendizagem for adequado, pois, do contrário, os alunos continuarão a apresentar suas dificuldades iniciais, sendo, com muita frequência rotulados como disléxicos.

4. EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS DAS NEUROCIÊNCIAS

As neurociências usam três técnicas principais na situação experimental: a Imagem por Ressonância Magnética (IRM), a electroencefalografia (EEG), e o mais eficiente método para medir o processamento da leitura, a magneto electroencefalografia (MEG).

Algumas evidências empíricas obtidas pelos experimentos confirmam princípios já conhecidos como os de que as regiões primárias processam os sinais brutos, independentemente da especialização hemisférica, no caso do sinal luminoso, a região occipital central (assinalada pelo número 1 na Fig. 1).

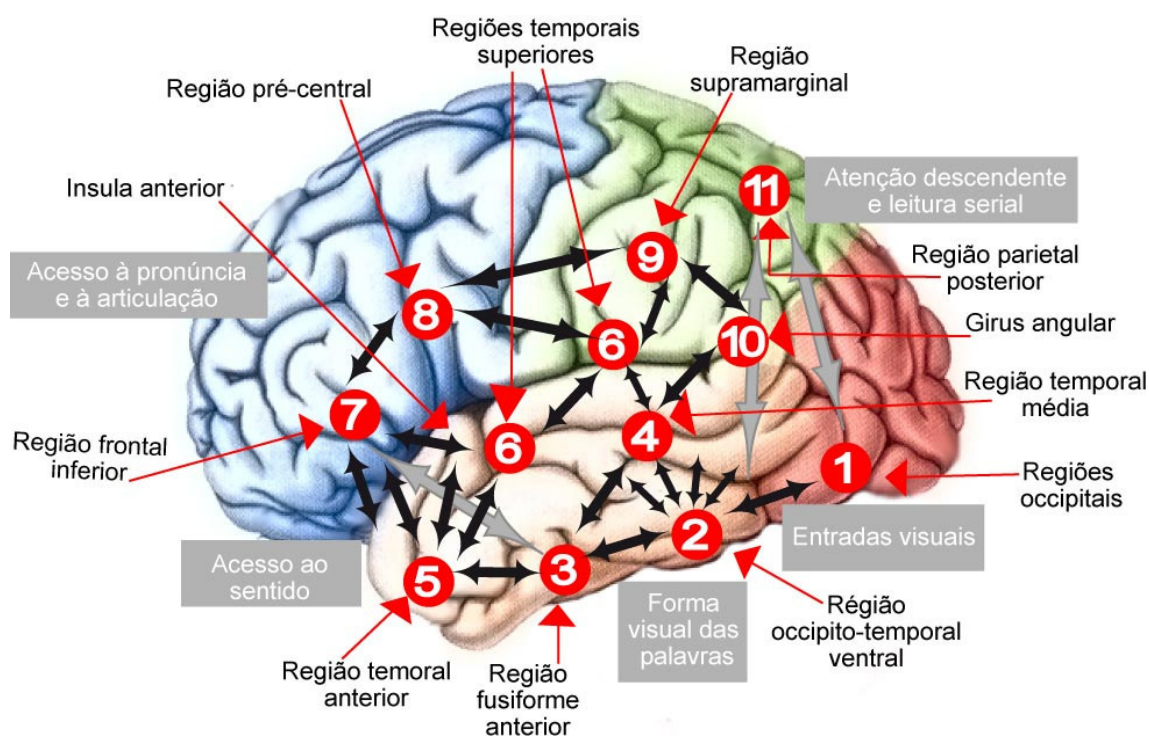


Figura 1. Visão moderna das redes corticais da leitura (adaptação a partir de DEHAENE 2007: 97).

O primeiro processamento leva aproximadamente 100 milissegundos. Embora haja alguns pontos controversos na literatura, faltando ainda esclarecer (STARR; RAYNER 2001) a discrepância entre o baixo nível dos fatores oculares se comparado ao alto nível dos processos cognitivos para afetarem os movimentos oculares, ou quanta informação é extraída à direita do olho, ou, ainda, se a fóvea central pode abarcar mais de uma palavra, há um relativo consenso quanto ao fato de existir uma limitação drástica de captação no momento da fixação. Por isso, os olhos correm pela linha, em movimentos de sacada (quatro ou cinco por segundo), quando não se vê nada, e param num ponto, **a fixação**: nos sistemas com direção da esquerda para a direita, a fóvea consegue abarcar 3 ou 4 letras à esquerda do centro do olhar, e 7 ou 8 à direita (McCONKIE; RAYNER 1975), decompondo os sinais luminosos em miríades de pontos que, metaforicamente, chamo de píxeis e, só depois da recomposição em formas invariantes que possam emparelhar com as dos respectivos neurônios, são enviadas para a área especializada, a **região occípito-temporal ventral esquerda**.

A novidade consiste em acompanhar *on line*, como o *out-put* desse primeiro processamento é enviado compulsoriamente para a região especializada para a leitura, a **região occípito-temporal ventral do hemisfério esquerdo** (observe o número 2, na figura 1, e as numerosas setas bidirecionais), se o sujeito aprendeu o código escrito, independentemente do sistema (alfabético ou ideográfico). Experimentos conduzidos por Dehaene e colegas (2002) demonstraram que a **região occípito-temporal ventral esquerda** se ilumina quando os sujeitos são submetidos a palavras escritas, mas não quando as mesmas palavras são ouvidas. É preciso assinalar que a **região occípito-temporal ventral esquerda** também processa faces, objetos e instrumentos, mas somente algumas partes da **região occípito-temporal ventral esquerda** preferem o reconhecimento das palavras escritas, enquanto a região contra-lateral do hemisfério direito prefere o reconhecimento de faces (TARKIAINEN e cols. 2002). Esses achados confirmam as conclusões de Allinson e colegas (1999), os quais aplicaram a eletroencefalografia a mais de cem pacientes epiléticos, enquanto não estavam em crise.

4.1 O RECONHECIMENTO DAS INVARIÂNCIAS

Outra importante evidência empírica obtida pelas neurociências diz respeito ao processamento das invariâncias.

O reconhecimento das invariâncias é possível e necessário por duas razões, fundamentalmente: primeira, porque, como mecanismo adaptativo, o sistema visual dos primatas deve reconhecer as formas básicas do que se encontra na natureza, independentemente das variantes que o olhar capta, conforme a distância, o ângulo de visão, a incidência da luz e sombra e a parte em relação ao todo, etc. (GRAINGER; REY; DUFAU 2008; SPRATTING 2005); segunda, porque, e essa é especificamente humana, só essa explica a capacidade dos neurônios da **região occípito-temporal-ventral esquerda** para reconhecer os traços invariantes que compõem as letras: na espécie humana, os respectivos axônios (prolongamentos dos neurônios para levarem a informação a outros neurônios através do mecanismo

denominado de sinapse) estão ligados a todas as regiões que processam a linguagem verbal e simultaneamente à região que processa o significado.

A primeira invariância observada no reconhecimento da palavra escrita é a **invariância espacial**: seja qual for o sistema de escrita, o seu processamento ocorre obrigatoriamente na **região occípito-temporal ventral esquerda**.

Nessa região, os neurônios reciclados para o reconhecimento das invariâncias dos traços que compõem as letras, os sintetizam em uma ou duas letras que constituem os grafemas. Como o nome da região indica, há uma associação entre a região occipital ventral esquerda e a região temporal contígua, responsável pelo processamento dos fonemas, mas o processamento em ambas não é simultâneo: o reconhecimento dos grafemas precede sua associação ao respectivo fonema, numa diferença de aproximadamente 40 milissegundos, conforme demonstram os experimentos de *priming*.

Da associação entre grafemas e fonemas, ambos com a função de distinguir significados, conclui-se pela natureza mais abstrata de tais construtos. As setas bidirecionais indicam projeções para todas as áreas que processam a linguagem verbal, em especial, as áreas que processam o significado.

A **invariância espacial** é comprovada pelos experimentos que demonstram que ler em mandarim ativa a mesma região occípito-temporal ventral esquerda: não são observadas diferenças substanciais entre as características de leitura desses sujeitos e as dos sujeitos que leem nos sistemas alfabéticos, o que também foi observado quando leem em kanji ou kana (NAKAMURA *et cols.*, 2005).

Outras evidências sobre a **invariância espacial** provêm do acompanhamento *on line* do processamento da palavra escrita. É bem conhecido que as projeções visuais são cruzadas: os sinais luminosos que se apresentam à esquerda se projetam sobre a metade direita da retina de cada olho, de onde a informação é enviada em direção às áreas visuais primárias na região occipital do hemisfério direito (posteriormente enviada via *corpus callosum* para o hemisfério esquerdo); e os sinais luminosos apresentados à direita se projetam sobre a metade esquerda da retina de cada olho, ambas tratadas na região occípito-temporal ventral do hemisfério esquerdo.

A técnica por IRM demonstra que o processamento unilateral na região V4 dura de 160 a 170 milissegundos. Subitamente, o *output* converge para **a região occípito-temporal ventral esquerda**, não importando se os estímulos foram apresentados no lado direito ou esquerdo da tela. Isso é possível porque a conexão entre os dois hemisférios é mediada pelo *corpus callosum*, conseqüentemente, se um paciente sofrer uma lesão vascular aí, estará impossibilitado de reconhecer as palavras apresentadas ao lado esquerdo da tela, uma síndrome denominada hemialexia.

No momento, os neurocientistas estão investigando como mensurar a direção das fibras do *corpus callosum*. A técnica acompanha uma sequência de imagens por ressonância magnética sensíveis à difusão espacial de moléculas de água: ela mede quais são as fibras degeneradas afetadas pela lesão vascular e por outras enfermidades como a esclerose, uma vez que elas deixam as moléculas de água livres para quaisquer movimentos, sem restrições.

Um grande número de experimentos demonstrou um outro tipo de invariância, **a invariância de fonte**: os neurônios da **região occípito-temporal ventral esquerda**, depois de reciclados, têm a capacidade de reconhecer uma letra como a mesma, apesar de suas múltiplas variantes. Os neurônios da **região occípito-temporal-ventral esquerda** reconhecem os traços invariantes que compõem as letras, cujos valores são os mesmos, independentemente de seu tamanho, da caixa (MAIÚSCULA ou minúscula), da fonte e estilo (imprensa, manuscrita, *itálico*, **negrito** ou sublinhado, etc.), ou da posição que ocupam na palavra (Dehaene 2007).

A hipótese de Polk and Farah foi confirmada por um experimento de *priming* utilizado por Dehaene e colegas (2002): eles apresentaram a primeira palavra subliminarmente, durante 29 milissegundos, para verificar o efeito sobre o processamento da segunda. Não houve interferência, com a mudança da fonte, já que sempre foi observada a redução de atividade na região occípito-temporal ventral esquerda. Contudo, a região primária de processamento do sinal visual se mostrou sensível às mudanças de fonte, o que comprova que o processamento das invariâncias das letras só é efetuado pela região occípito-temporal ventral esquerda, que processa construtos mais abstratos, reconhecendo como idênticas letras que não partilham nenhum traço, como é o caso de **A** e **a**, **G** e **g**, **M** e **m**. O fator

determinante para essa capacidade é que em cada par, ambas as letras constituem os mesmos grafemas, isto é, têm o mesmo valor.

Se o método global fosse correto, o reconhecimento da palavra escrita ocorreria por configuração, exatamente o que o hemisfério direito faz: ele reconhece **GALA** e **gala** como palavras distintas (DEHAENE *et cols.*, 2004).

O mesmo se pode dizer em relação à inferência das pessoas em relação a uma criança de três ou quatro anos, quando reconhece na garrafa o rótulo **Coca-Cola**, de que tal criança já sabe ler. Se a palavra COCA-COLA estiver escrita numa folha de papel em letra de imprensa, ou mesmo, se forem escritas outras palavras com as mesmas letras, como CACO ou CALO, obviamente, a criança não as saberá ler, pois reconheceu **Coca-Cola** por configuração e/ou pelas pistas extralinguísticas.

Outro achado interessante é o de que os neurônios da região occípito-temporal ventral esquerda além de aprenderem a reconhecer os traços invariantes das letras e suas combinações, também aprendem as regras grafotáticas de uma dada língua. O que são as regras grafotáticas? São as que ditam qual a posição possível, preferencial ou proibida de uma letra. Por exemplo, no português, a letra **h** pode ocupar posição inicial antes de vogal; medial somente depois de **c**, **l** e **n** e final somente em interjeições. Os experimentos demonstram que os neurônios da região occípito-temporal ventral esquerda preferem cadeias bem formadas de letras numa dada língua (COHEN *et cols.* 2002).

Tais dados demonstram que tais capacidades não são inatas e precisam ser aprendidas, pois dependem da ortografia de cada língua.

4.2 Reconhecimento dos traços que diferenciam as letras

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z

a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z

A utilização de uns poucos traços articulados para formar uma letra, diferenciando-a das demais, se insere nos princípios que governam o processamento da escrita, que passo a enumerar:

Quanto mais baixo o nível de processamento, tanto mais deverá ser automatizado durante a aprendizagem e, portanto, menor o número de traços que compõem o paradigma (lista dos traços que são utilizados) e de cada feixe (no caso, uma dada letra), para não sobrecarregar a memória.

Os traços mais elementares que constituem as letras são as retas e as curvas, cujo reconhecimento, em suas formas invariantes, não é privilégio da espécie humana. Porém, o que caracteriza a utilização dessas formas invariantes na estruturação de um sistema alfabético é o desdobramento em pequenas diferenças, o modo como se articulam e o acréscimo de outros traços diferenciais, que são: a relação com uma linha real ou imaginária (somente nas minúsculas), a direção para cima ou para baixo, e para a direita ou para a esquerda (esse último, o mais complexo dos traços que diferenciam as letras entre si, pois vai de encontro à programação natural dos neurônios para buscar a simetria na informação visual).

Em cada nível, as unidades do nível anterior vão sendo estruturadas numa ordem de complexidade e quantidade crescente: a primeira ordem é a dos traços articulados simultaneamente e não em cadeia, para formar cada letra, cuja função é a de realizar um grafema; a segunda ordem é a do grafema, **associado ao fonema que representa** e constituído de uma ou duas letras, **cuja função é distinguir a significação básica** das unidades puramente gramaticais ou que se referem à significação externa; a terceira ordem é a das unidades cuja função é referenciar a significação puramente gramatical ou externa; a quarta ordem é a das frases, com função nominal, verbal ou preposicional; a quinta ordem é a das orações, cuja função é proposicionar; a sexta ordem é a dos períodos, cuja função é articular as proposições e a sétima ou última ordem é a do texto, cuja função é articular as ideias, de modo coerente, em torno de uma unidade temática.

No momento, estou tratando das dificuldades com as quais o alfabetizando se defronta para aprender a primeira ordem, a dos traços que se articulam para formar as letras. Algumas letras são formadas por um só traço, como em **I, C e O** maiúsculos, e **I, c e o** minúsculos.

Já mencionei que os traços mais elementares que constituem as letras são as retas e as curvas, que se desdobram em pequenas diferenças que são:

- **posição da reta**: vertical, horizontal ou inclinada. Por ex., na letra **E**, observa-se uma reta vertical e três horizontais, enquanto na letra **V**, observam-se duas retas inclinadas;

- **tamanho da reta.** Você pode notar que os traços horizontais são sempre menores que os verticais (sempre do mesmo tamanho, numa mesma fonte). Compare, por exemplo, esses tamanhos nas letras **E, F, H, L e T.**

- **relações entre os traços numa mesma letra.** As relações podem ser entre retas (em qualquer das posições), entre curvas ou mistas, variando o local onde os traços menores se colocam em relação ao eixo principal e quantos são. Assim, a única diferença entre **E** e **F** está no fato de **E** ter um traço horizontal a mais na base, e de ambos se diferenciarem de **L** porque esse só possui um traço horizontal na base. Já na letra **T**, o traço vertical tange bem ao meio o traço horizontal que está no topo, enquanto no **H**, é o traço horizontal que liga, no meio, duas retas paralelas. Observe, pois, que essas cinco letras maiúsculas articulam exatamente os mesmos traços, diferenciando-se apenas pelas relações que estabelecem entre si: **L T F E H.**

Encontra-se um exemplo de relação entre curvas na letra maiúscula **S** e minúscula **s**, mas, como se pode observar, essa letra, além das grandes dificuldades do grafema por apresentar valores fonológicos diferentes, conforme o contexto gráfico, possui uma dificuldade ainda maior, pelo fato do duplo espelhamento da curva **c** de cima para baixo e da esquerda para a direita. Voltarei a tratar desse impasse.

O que ocorre mais são as relações mistas. Uma pequena curva articulada com o traço vertical (na verdade, seu prolongamento), ou o inverso, aparece em letras maiúsculas e minúsculas, como **J, a, f, g, h, j, m, n, r, t e u.** Uma articulação mais complexa ocorre no estilo *Times New Roman*, usado para **g** minúsculo. Uma outra articulação mista ocorre entre a curva **c** e a reta, acrescida de uma das dificuldades maiores no reconhecimento das letras que é a direção para a direita ou para esquerda, e para cima ou para baixo (espelhamento) conforme as letras: **B, D, P e R**, nas maiúsculas, e **b, d, p e q**, nas minúsculas.

- **direção para a direita ou para esquerda, e para cima ou para baixo (espelhamento):** deixo para o final o que constitui a maior dificuldade para o reconhecimento das letras, ou seja, a diferença entre a direção do traço para a esquerda ou para a direita e, em menor escala, a diferença entre a direção do traço de cima para baixo ou o inverso: o **espelhamento.** Como já afirmado várias vezes, a percepção dessa diferença vai de encontro à programação natural dos neurônios

para buscar a simetria na informação visual, daí a grande dificuldade de aprendizagem. Essa diferença é a única que existe entre os seguintes pares: **b/d**, **p/q** (diferença para a direita ou para a esquerda) e entre **M/W**, **n/u**, **b/p** e **d/q** (diferença de cima para baixo ou o inverso) e, em menor grau, entre **A/V**, **S/Z**, **a/e**, **s/z** e **f/j**.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo, ao introduzir a primeira das dificuldades para o alfabetizando, ou seja, a necessidade de desmembrar a cadeia da fala, contextualizei historicamente a origem das pesquisas sobre consciência fonológica. A seguir, para abordar a questão das invariâncias dos traços que compõem as letras, discorri sobre a programação dos neurônios da visão para simetrizar os sinais e apresentei as evidências empíricas que comprovam o processamento na região occípito-temporal ventral esquerda das invariâncias dos traços que compõem as letras, sintetizadas nos grafemas associados aos fonemas, ambos com a função de distinguir significados.

RECOGNITION OF INVARIANCES BY CYCLED NEURONS

ABSTRACT

Empirical evidences brought by neurosciences prove the neuropsychological basis constructs, namely invariance already claimed by modern linguistics. However, emphasis will be given to the psychological reality of letters' features invariance, demonstrated by various experiments which had been recently run by neuroscientists. Two types of invariance will be discussed, the spatial and the fonts invariance. A description of invariant features of the Roman alphabet ends the paper.

Keywords: Occipitotemporal ventral region of the left hemisphere. Letters' features invariance. Grapheme. Phoneme.

NOTAS

¹ Professora Emérita e titular aposentada pela Universidade Federal de Santa Catarina. CNPq.

REFERÊNCIAS

ALLINSON, T. PUCE, A., SPENCER, D. D. & McCARTHY, G. Electrophysiological studies of human face perception. I: Potentials generated in occipitotemporal cortex by face and non-face stimuli. *Cereb Cortex*, 9(5), 415-430, 1999.

ASSAF, Y.; BASSER, P. J. 'Virtual histology' of human white matter by diffusion MR imaging. *Abstracts of the 13th Annual Meeting of Israel Society for Neuroscience 2004*. <<http://www.hindawi.com/journals/np/2005/859245.abs.html>>. (Acesso em 22/08/2009).

BARLASSOV, A.; WEINSTEIN, M.; HOCHSTEIN, S. Do odd illusory shapes pop out? Effects of learning and expertise. *Abstracts of the 13th Annual Meeting of Israel Society for Neuroscience 2004*. <<http://www.hindawi.com/journals/np/2005/859245.abs.html>>. (Acesso em 22/08/2009).

CHANGEUX, J.-P. Préface. In: Dehaene, S. *Les neurones de la lecture*. Paris: Odile Jacob 2007.

COHEN, L.; LEHERECY, S.; CHOCHON, F.; LEMER, C.; RIVAUD, S.; DEHAENE, S. Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the visual word form area. *Brain*, 125 (Pt 5), 1054-1069, 2002.

DEHAENE, S. *Les neurones de la lecture*. Paris: Odile Jacob, 2007.

_____. , Le CLECH, G. POLINE, J. B., Le BIHAN, D. & COHEN, L. (2002) . Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nat. Neurosci*, 4 (7), 752-758.

GRAINGER, J.; REY, A.; DUFAU, S. Letter perception: from pixels to pandemonium. *Trends in Cognitive Sciences* 12(10): 381-387, Oct. 2008.

HAREL, A.; GOLLAND, Y.; MALACH, R.; BENTIN, S. Selective neural responses to objects of expertise in experts' ventral visual pathway. *Abstracts of the 13th Annual Meeting of Israel Society for Neuroscience 2004*. <<http://www.hindawi.com/journals/np/2005/859245.abs.html>>. (Acesso em 22/08/2009).

JAKOBSON, R. On the identification of phonemic entities. *Travaux du Cercle Linguistique de Copenhague* 1949: 205-213.

KAVANAGH, J.F.; MATTINGLY, I.G. 1972. *Language by ear and by eye. The relationships between speech and reading*. Cambridge, Mass. M.I.T.

MCCONKIE, G. W.; RAYNER, K. The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception and Psychophysics*. *Percept Psychophys* 17: 578-586, 1975.
POLK, T. A.; FARAH, M. J. Functional MRI evidence for an abstract, not perceptual word-form area. *J Exp Psychol Gen.* 131(1), 65-72, 2002.

SPERBER, D. *Explaining culture: A naturalistic approach*. London: Blackwell 1996.
STARR, M. S.; RAYNER, K. Eye movements during reading: some current controversies. *Trends in Cognitive Sciences* 5(4) 1: 156-163 April 2001.

TARKIAINEN, A.; CORNELISSEN, P. L. & SALMELIN, R. Dynamics of visual feature analysis and object-level processing in face versus letter-string perception. *Brain*, 125 (Pt 5), 1125-1136, 2002.