

Neurofisiologia da escrita: O que acontece no cérebro humano quando escrevemos?

Neurofisiología de la escritura: ¿Qué pasa en el cerebro humano cuando escribimos?
Neurophysiologie de l'écriture: ce qui se passe dans le cerveau humain quand nous écrivons?
Neurophysiology of writing: what happens in the human brain when we write?

Welma Wildes Amorim¹, Nirvana F. S. Sampaio¹, Cristiane N. Temponi¹, Igor Aloísio G. Zamilute², Déborah C. Cavalcante³ & Vanessa V. Ikuta¹

¹ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Brasil

² Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Brasil

³ Hospital Santo Antônio, Obras Sociais Irmã Dulce (OSID), Brasil

Agradecimento: as contribuições de Márcio Galvão Guimarães de Oliveira, Celeste Dias Amorim e Daisy Deell Figueira Glass.

Resumo

A escrita, ao tornar a linguagem oral “visível” e material, é de longe a mais importante invenção da humanidade. Muito além de uma importante conquista cultural, significou uma extraordinária aquisição cognitiva, mas pouco se conhece sobre o que acontece no cérebro humano quando escrevemos. O objetivo deste estudo é realizar uma revisão teórica dos modelos cognitivos e dos substratos neurais relacionados à produção da linguagem escrita. Para isso, iniciou com uma síntese da história da escrita, em sequência, discorreu sobre seu processamento, finalizando com os correlatos neurológicos da escrita. A fim de converter ideias em palavras escritas, os processos centrais da linguagem escrita partem da semântica, ou seja, do conhecimento do significado das palavras. Após, a forma das palavras (no caso da grafia, as letras) é recuperada através das representações lexicais e/ou sublexicais que são, então, transitariamente armazenadas em um sistema de memória de trabalho chamado de graphemic buffer. Estes processos mais centrais são seguidos por componentes periféricos que envolvem a elaboração de planos de motores específicos para cada modalidade de escrita, como a escrita manual, digitação e a soletração. Embora a localização precisa dos substratos neurais relacionados ao processamento da escrita seja difícil, há evidências de que o giro fusiforme, o giro frontal inferior e algumas áreas dos lobos parietais superior e inferior esquerdo estão relacionados com os componentes centrais e que o giro/sulco frontal superior esquerdo, o giro pré-central, as áreas dos lobos parietais inferior e superior esquerdo e o cerebelo direito estão mais relacionadas com o processamento periférico da escrita. Destarte, a melhor compreensão de como ocorre o processamento da escrita em nosso cérebro pode proporcionar o desenvolvimento de novas abordagens diagnósticas e terapias futuras para os pacientes com agrafias, abrindo novas perspectivas nas áreas da neurolinguística, neuropsicologia clínica, desenvolvimental e intervencionista. Palavras-chave: linguagem, escrita, sistema de escrita, cognição, neurofisiologia.

Resumen

La escritura, entendida como la materialización del lenguaje oral, es una de las creaciones más importantes de la humanidad. Más que un logro cultural importante significa una adquisición cognitiva extraordinaria, pero se conoce poco acerca de lo que sucede en el cerebro humano cuando escribimos. El objetivo de este estudio es hacer una revisión teórica de los modelos cognitivos y los substratos neurales relacionados con la producción del lenguaje escrito. Para ello, se inicia con una síntesis de la historia de la escritura, luego se presentan sus mecanismos de procesamiento y finalmente se describen los correlatos neurológicos de la escritura. Con el objetivo de transformar ideas en palabras escritas, los procesos centrales del lenguaje escrito parten de la semántica, es decir, del conocimiento del significado de las palabras. Luego, la forma de las palabras (en el caso de la grafía, las letras) es recuperada a través de las representaciones lexicales y/o sublexicales que son almacenadas temporalmente en un sistema de memoria de trabajo llamado buffer grafémico. Estos procesos más centrales son seguidos de componentes periféricos que implican la elaboración de planos motores específicos para cada modalidad de escritura, como la escritura manual, digital y por deletreo. Aunque la ubicación precisa de los substratos neurales relacionados con el procesamiento de la escritura es compleja, hay evidencia de que el giro fusiforme, el giro frontal inferior y algunas áreas de los lóbulos parietales superior e inferior izquierdos están relacionados con los componentes centrales y que el giro/surco frontal superior izquierdo, el giro pre-central, las áreas de los lóbulos parietal inferior y superior izquierdos y el cerebelo derecho están más relacionados con el procesamiento de la escritura periférica.

Artigo recebido: 22/07/2015; Artigo revisado (1a revisão): 30/10/2015; Artigo revisado (2a revisão): 22/02/2016; Artigo aceito: 07/03/2016.
Toda correspondência relacionada a este artigo deve ser enviada a Welma Wildes Amorim, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Colegiado de Medicina, Estrada do Bem-Querido, Km 04, Universitário, Vitória da Conquista - BA, CEP 45206190
Email de contato: welmawildes@hotmail.com
DOI: 10.5579/rnl.2016.0260

De esta manera, una mejor comprensión de cómo se produce el procesamiento de la escritura en nuestro cerebro puede proporcionar el desarrollo de nuevos enfoques diagnósticos y terapias futuras para pacientes con agrafia, lo que abre nuevas perspectivas en la Neurolingüística y la Neuropsicología Clínica, del desarrollo e intervencionista.

Palabras clave: lenguaje, escritura, sistemas de escritura, cognición, neurofisiología.

Résumé

L'écriture, en faisant orale langue "visible" et matériel, est de loin la plus importante invention de l'humanité. Plus qu'une simple réalisation culturelle remarquable, cela signifie aussi une acquisition cognitive extraordinaire; Cependant, on sait peu sur ce qui se passe dans le cerveau humain quand nous écrivons. Cet article présente un examen théorique des modèles cognitifs et les substrats neuronaux liés à la production du langage écrit. Il commence par un bref aperçu de l'histoire de l'écriture, examine les processus impliqués, et se termine par les corrélats neurologiques de l'écriture. Afin de convertir les idées en mots écrits, les processus centraux d'écriture commencent avec la sémantique - qui est, la connaissance de la signification des mots. Ensuite, la forme des mots (les lettres utilisées, dans le cas de l'orthographe) est récupérée à travers des représentations lexicales et / ou sous-lexicales qui sont temporairement stockés dans un système de mémoire de travail appelé le tampon graphémique. Ces processus centraux sont suivis par des composants périphériques impliqués dans la production de plans de moteur spécifiques pour chaque type d'écriture, comme l'écriture, la dactylographie et l'orthographe. Bien qu'il soit difficile de déterminer l'emplacement exact des substrats neuronaux liés au processus d'écriture, il est prouvé que le gyrus fusiforme, le gyrus frontal inférieur et certaines zones de la gauche lobes pariétaux supérieurs et inférieurs sont liés aux composants centraux et que le supérieur gyrus frontal / sulcus gauche, le gyrus pré-central, les domaines de la gauche lobes pariétaux inférieurs et supérieurs et le droit cervelet sont plus liés au traitement périphérique de l'écriture. Par conséquent, une meilleure compréhension de la façon dont le processus d'écriture se produit dans notre cerveau peut aider au développement de nouvelles approches diagnostiques et des thérapies futures pour les patients atteints de agraphia, ouvrant de nouvelles perspectives dans le domaine de la neurolinguistique ainsi que la neuropsychologie clinique, développement et interventionnelle.

Mots-clés: langue, écriture, système d'orthographe, cognition, neurophysiologie.

Abstract

Writing, by making oral language "visible" and material, is by far the most important invention of humanity. More than just a remarkable cultural achievement, it also means an extraordinary cognitive acquisition; however, little is known about what happens in human brains when we write. This paper presents a theoretical review of cognitive models and the neural substrates related to the production of written language. It starts with a brief overview of the history of writing, discusses the processes involved, and concludes with the neurological correlates of writing. In order to convert ideas into written words, the central processes of writing begin with semantics - that is, the knowledge of the meaning of the words. Afterwards, the form of the words (the letters used, in the case of spelling) is retrieved through lexical and/or sub-lexical representations that are temporarily stored in a working memory system called the graphemic buffer. These more central processes are followed by peripheral components involved in the generation of specific motor plans for each type of writing, such as handwriting, typing and spelling. Although it is difficult to determine the exact location of the neural substrates related to the writing process, there is evidence that the fusiform gyrus, the inferior frontal gyrus and some areas of the left superior and inferior parietal lobes are related to the central components and that the left superior frontal gyrus/sulcus, the pre-central gyrus, the areas of the left inferior and superior parietal lobes and the right cerebellum are more related to the peripheral processing of writing. As a result, a better understanding of how the writing process occurs in our brain may aid the development of new diagnostic approaches and future therapies for patients with agraphia, opening new prospects in the field of neurolinguistics as well as clinical, developmental and interventional neuropsychology.

Keywords: language, writing, spelling system, cognition, neurophysiology.

Introdução

Se a linguagem, ou seja, “a habilidade de usar signos linguísticos para expressar pensamentos formados livremente marque a verdadeira distinção entre o homem e o animal”, estando presente em todos os aspectos da vida, do pensamento e da interação humana (Chomsky, 1998), o que dizer então da representação da linguagem oral por meio de signos gráficos? A escrita, ao tornar a linguagem “visível” e material, é de longe a mais importante invenção da humanidade e sua mais notável conquista intelectual e cultural (Rapp, Fischer-Baum & Miozzo, 2015). Segundo Woods, Emberling, Teeter e Institute (2010), a fala é para o ser humano o que a escrita é

para a civilização.

A escrita proporcionou o armazenamento e a transmissão de informações e conhecimentos através do tempo e do espaço, bem além da capacidade de memória humana. Quando falamos, nós podemos somente nos comunicar com quem está próximo e no momento da fala, pois a linguagem oral é efêmera e imediata. No entanto, a escrita permite que nos comuniquemos à distância, tanto em lugares distantes, quanto em eras distantes, levando a transmissão de conhecimentos por épocas indeterminadas e tornando possível ao ser humano ter uma história, aprender com o conhecimento do outro e reformulá-lo, em um constante processo de evolução cultural (Rogers, 2005; Rapp

et al., 2015). O que seria das crianças sem os contos que os irmãos Grimm resgataram da tradição oral alemã, colhidos do relato de camponeses e fixados em texto, na coletânea mais conhecida de contos populares do mundo? *A Bela Adormecida, Chapeuzinho Vermelho, A Gata Borralheira e Branca de Neve* são algumas dessas histórias que fascinam em todas as línguas e culturas há quase duzentos anos (Haase, 1993; Marvels & Tales, 2005). O que seria da Medicina sem as descrições dos estudos de Hipócrates na Grécia Antiga (Breitenfeld, Jurasic & Breitenfeld, 2014) ou da ciência sem o legado de Galileu Galilei no século XVI? (Harris, 2010).

A linguagem escrita é uma invenção recente na história da humanidade e abrange dois componentes essenciais: a leitura (compreensão) e a escrita/grafia (produção) (Rapp & Lipka, 2011). Ao contrário da linguagem oral, a linguagem escrita deve ser explicitamente ensinada, embora, apesar da exposição adequada à educação, nem sempre seu aprendizado é bem sucedido (Dronkers, Pinker & Damásio, 2000) devido a razões sociais (como ausência de escola, baixa qualidade do ensino) e/ou razões pessoais (dificuldades de aprendizagem, transtorno do desenvolvimento intelectual, déficit sensorial – visual e/ou auditivo) (Ardila, 2012). As crianças adquirem a linguagem espontaneamente, sem nenhuma instrução especial, pois a aquisição da linguagem oral é natural para o bebê e ocorre automaticamente se exposto ao ambiente linguístico (Chomsky, 1998), entretanto, a leitura e a escrita sempre são conscientemente aprendidas (Rogers, 2005).

Conquanto seja oral seja escrita, a linguagem é um atributo da mente, constituindo uma das funções cognitivas humanas; por isso, o cérebro é o objeto de estudo fundamental para a compreensão do seu funcionamento (Harris, 2010). Alguns questionamentos sobre o processamento da linguagem instigam a curiosidade de muitos cientistas: o que acontece no cérebro humano quando falamos ou escutamos uma frase? (Grande, Meffert, Schoenberger, Jung, Frauenrath & Huber, 2012; Potgieser, van der Hoorn & Jong, 2015; Roehrich-Gascon, Small & Tremblay, 2015; Zhu, Nie, Chang, Gao & Niu, 2014). Quais substratos neurais permitem nosso cérebro ler ou escrever? (Ardila, Bertolucci, Braga, Castro-Caldas, Judd & Kosmidis, 2010; Rapp & Lipka, 2011). Diferentes áreas cerebrais têm sido estudadas para se descobrir como as palavras e as sentenças são processadas (Ludersdorfer, Kronbichler, & Wimmer, 2015; Planton, Jucla, Roux & Démonet, 2013; Purcell, Turkeltaub, Eden, & Rapp, 2011; Talacchi, Casartelli, Capasso & Miceli, 2013). As operações cognitivas e seus substratos neurais que propiciam a compreensão e a produção da linguagem escrita requerem a coordenação e o recrutamento de uma série de processos e representações intrincados (Bertram, Tonnessen, Stromqvist, Hyönä & Niemi, 2015; Purcell & Rapp, 2013). Os estudos comportamentais em indivíduos com lesões neurológicas (Ellis, 1982; Margolin & Goodman-Schulman,

1992; McCarthy & Warrington, 1990) e os estudos com indivíduos neurologicamente intactos (Bertram et al., 2015; Potgieser et al., 2015; Purcell & Rapp, 2013) têm proporcionado uma compreensão cada vez mais detalhada dos aspectos cognitivos desses processos e representações (Dufor & Rapp, 2013). Por muito tempo, os conhecimentos acerca da escrita provinham de estudos anatômicos *post mortem*, que correlacionavam o comprometimento de funções linguísticas (déficits) com lesões cerebrais específicas (Planton et al., 2013). Nas últimas décadas, técnicas de imagem cerebral, como tomografia computadorizada (TC) e ressonância magnética (RM) puderam discriminar áreas anormais no cérebro de indivíduos vivos. Mais recentemente, novas técnicas de neuroimagem funcional (Price, 2000), como tomografia por emissão de prótons (PET) e ressonância magnética funcional (RMF), que mostram o metabolismo cerebral e seu funcionamento, permitem a identificação mais acurada das áreas cerebrais envolvidas no processamento da linguagem (Purcell, Napoliello & Eden, 2011; Rapp & Dufor, 2011; Taylor, Rastle & Davis, 2013). Por conseguinte, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão teórica dos modelos cognitivos e os substratos neurais relacionados à produção da linguagem escrita. Para tanto, este artigo inicia com uma revisão da história da escrita; em seguida, discorre sobre os processos e representações da linguagem escrita, com ênfase no processamento da produção escrita, destrinchando seus processos centrais e periféricos e, por fim, aborda sobre a neurotopografia da escrita.

História da escrita

Diferentes sistemas de escrita representam a linguagem em distintos níveis, incluindo os morfemas, as sílabas e os fonemas (Treiman & Kessler, 2013). A unidade contrastiva mínima de um sistema de escrita é o grafema, que pode representar um fonema na escrita alfabética, uma sílaba, na escrita silábica, ou uma ideia na escrita ideográfica (Rogers, 2005).

O desenvolvimento da escrita envolveu uma etapa denominada “não escrita”, quando o homem primitivo utilizou-se da pictografia, ou escrita pictográfica, a fim de transmitir ideias por meio de desenhos (símbolos) figurativos e estilizados (Kristeva & Barahona, 1969). Os pictogramas não representavam a linguagem verbal, por isso não estavam associados a um som, mas à imagem do que era pintado, representando objetos, figuras e ideias (Maduro, 2006). A pintura é a raiz de todas as escritas, não apenas da escrita primitiva, mas também dos grandes sistemas orientais, como o sumério e o egípcio (Kristeva & Barahona, 1969).

Há cerca de 4000 anos a.C., surgiu a escrita ideográfica, representada pelos ideogramas, que relacionavam primariamente os grafemas aos morfemas/palavras, ou seja, os símbolos gráficos significavam diretamente uma ideia, uma

palavra ou um grupo de palavras semanticamente relacionadas. A primeira escrita ideográfica conhecida foi a cuneiforme, surgida na Mesopotâmia e criada pelos sumérios, e cujo sistema dispunha de quase 20.000 ideogramas. A escrita cuneiforme era gravada em blocos de argila frescos por meio de um instrumento em forma de cunha e depois cozidos para endurecer. Outras escritas também apresentavam características ideográficas, como os hieróglifos egípcios, a escrita maia e asteca e a escrita chinesa (Woods et al., 2010).

A passagem dos ideogramas para os sistemas silábico e alfabético surgiu com a necessidade de incorporar, aos registros escritos, elementos das línguas faladas, como o estabelecimento de relações gramaticais. Os primeiros sistemas silábicos surgiram há cerca de 2800 a.C., quando os sinais ideográficos que, antes correspondiam a certos objetos, passaram a representar o som das sílabas iniciais do nome dos objetos aos quais se referiam. Esse recurso de usar desenhos e ideogramas pelo seu valor fonético em vez de semântico é conhecido como *rébus*. Com a estratégia do rébus, o significado da representação escrita ficou mais claro e unívoco, pois a escrita ideográfica tinha o inconveniente da multiplicidade de significados passíveis de atribuição às figuras (Rogers, 2005; Seabra & Capovilla, 2004). Na atualidade, um exemplo de escrita silábica é a Kana (Rogers, 2005), que é um termo geral para as escritas silábicas japonesas hiragana e katakana (Kato, 1986).

A invenção do sistema de escrita alfabético decorreu da percepção de que a escrita poderia ser organizada mais facilmente se cada som individual fosse representado por um sinal específico. Este tipo de organização reduziria em muito os sinais necessários para a representação, pois os diferentes sons de cada língua são em pequeno número, raramente mais que quarenta sons (Seabra & Capovilla, 2004). Idealmente, no sistema de escrita fonêmica, cada símbolo seria primariamente relacionado a um fonema da língua. Os símbolos segmentais de um sistema de escrita fonêmica são tradicionalmente chamados de letras, e o inventário dessas letras é chamado alfabeto (Rogers, 2005).

Considera-se que a escrita fonêmica foi a antepassada do alfabeto moderno. Os documentos mais antigos que atestam o alfabeto fonético arcaico dos fenícios datam dos séculos XIII-XI a.C. e mostram uma escrita que não parecia ser ideogramática, não separava apenas sílabas, mas isolava consoantes que sugeriam a vogal precedente e se constituía como um verdadeiro alfabeto consonântico. O alfabetismo pleno, ou seja, uma escrita que analisa cada palavra nos seus elementos fonéticos constitutivos, consoantes e vogais, atribuindo signos especiais a cada um desses elementos, tanto às vogais quanto às consoantes, foi introduzido pelos gregos (Kristeva & Barahona, 1969).

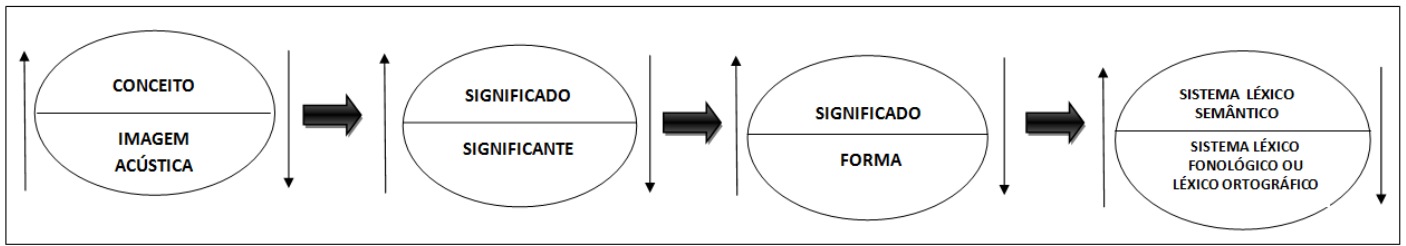
Figura 1. *Representação esquemática do signo linguístico*

Na escrita alfabética, espera-se um relacionamento regular, um a um, entre grafemas e fonemas, mas isso não é visto atualmente no funcionamento das línguas. Em algumas línguas, como o português, o relacionamento entre grafemas e fonemas aproxima-se a um a um. Por exemplo, /vida/ é escrito *vida*, com uma relação um para um entre grafemas e fonemas. No entanto, algumas palavras não têm a mesma correspondência, como as palavras que são escritas com *h*, letra que não corresponde a nenhum som nessa língua, é o caso de /ora/, que se escreve *hora*. Dessa forma, para escrever essa palavra em português, é necessário conhecer como essa palavra é escrita, pois apenas a informação fonológica não é suficiente. Para escrever em Inglês, precisa-se de muitas informações morfológicas, pois, com frequência, as palavras inglesas são escritas muito diferentemente de como são pronunciadas (Rogers, 2005; Treiman & Kessler, 2013). Esta seção revisou a história da escrita ao longo da civilização, desde a pictografia até o sistema alfabético, refletindo sobre uma possível tendência de reversão ao sistema ideográfico. A seção seguinte inicia a revisão de como ocorre o processamento da escrita no nível individual, ou seja, no cérebro humano, abordando sobre o sistema de processamento lexical para, em seguida, discutir os modelos cognitivos que tentam explicar como é possível o indivíduo ler e escrever palavras com grande correspondência fonema-grafema ou palavras cuja correspondência fonema-grafema é imprevisível.

Sistemas de Processamento Lexical

Segundo Hillis (2001), de acordo com estudos realizados em pacientes com lesões neurológicas, o sistema de processamento lexical é composto, funcionalmente, por dois sistemas independentes: um sistema léxico-semântico, com representações do significado das palavras, e um sistema com representações da forma das palavras (sons ou letras), operado pelos sistemas léxico-fonológico ou léxico-ortográfico. Essa arquitetura funcional de processamento lexical assemelha-se ao conceito de signo linguístico de Saussure (2006, p. 80): “O signo linguístico une não uma coisa e uma palavra, mas um conceito e uma imagem acústica. Esta não é o som material, coisa puramente física, mas a impressão psíquica desse som [...]. O signo linguístico é, pois, uma entidade psíquica de duas faces [...]”.

Na Figura 1, fazemos a representação esquemática dessa analogia entre a concepção de duplo sistema de processamento funcional de Hillis (2001) e o conceito de signo linguístico de Saussure (2006):



Nota. produção do autor.

No processamento da linguagem escrita, o conhecimento do significado das palavras (léxico semântico) e dos sons das palavras (léxico fonológico) não são específicos para a leitura/escrita, pois formam uma parte essencial do sistema de linguagem oral. Já os componentes que envolvem os processos de representação ortográfica são próprios da linguagem escrita. Tanto a escrita quanto a leitura requerem vários mecanismos de memória de longo prazo e memória de trabalho que atuam em letras e grafias de palavras, sendo responsáveis pela conversão entre letras e palavras e seus sons correspondentes (conversão fonema-grafema). No caso das palavras, existe um mapeamento adicional entre as grafias de palavras e seus significados (léxico ortográfico) (Rapp & Lipka, 2011).

Modelos Cognitivos de Representação da Escrita

Há duas possibilidades para se escrever uma palavra: primeira, através da via sublexical com mecanismos fonológicos de conversão fonema-grafema e, segunda, pela via lexical, através da ativação da representação semântica, que é uma representação fonológico-lexical, que permite a recordação da escrita da palavra (Ellis, 1982; Hillis, 2001; Margolin & Goodman-Schulman, 1992; Tainturier & Rapp, 2001). Esse sistema de “duas vias” foi proposto para explicar como nós podemos escrever palavras familiares como

também escrever palavras novas ou não familiares de forma plausível. Por exemplo, considerando-se uma situação hipotética em que tenha de anotar um recado de um telefonema cuja pessoa se identificou como Reynaldo Gianecchini. Caso não esteja familiarizado com este nome e não tenha armazenado em seu cérebro a forma “correta” de escrevê-lo, mesmo assim, seria capaz de produzir uma escrita fonologicamente possível (por ex: Reinaldo Janequine). Esta habilidade de produzir uma escrita plausível para uma palavra que nunca tenha sido vista ou escutada anteriormente depende do sistema de “conversão fonologia para ortografia”, também conhecido como rota não lexical ou sublexical da escrita (Ellis, 1982; Hillis, 2001; Tainturier & Rapp, 2001). Este processo envolve os seguintes passos:

1. Análise acústica/fonológica da fala e sua segmentação em unidades menores (ou seja, fonemas, sílabas ou outras

unidades funcionais);

2. Conversão de cada unidade fonológica em uma unidade ortográfica correspondente;

3. Reunião dessas unidades ortográficas em uma cadeia abstrata de letras corretamente sequenciadas.

O processo de “conversão fonologia para ortografia”, também denominado conversão fonema-grafema, busca o conhecimento sobre a possível correspondência fonema-grafema de uma determinada língua estocada no cérebro (por ex: /s/ → SS ou C), sua frequência de uso (por ex: /s/ é mais escrito com SS do que com C) e o contexto em que é utilizado (ex: uma palavra que inicia com /s/ não pode ser escrita com SS). O funcionamento dessa via sublexical é, habitualmente, avaliado através do ditado de pseudopalavras, como “flope” (Ellis, 1982; Hillis, 2001; Margolin & Goodman-Schulman, 1992; Tainturier & Rapp, 2001).

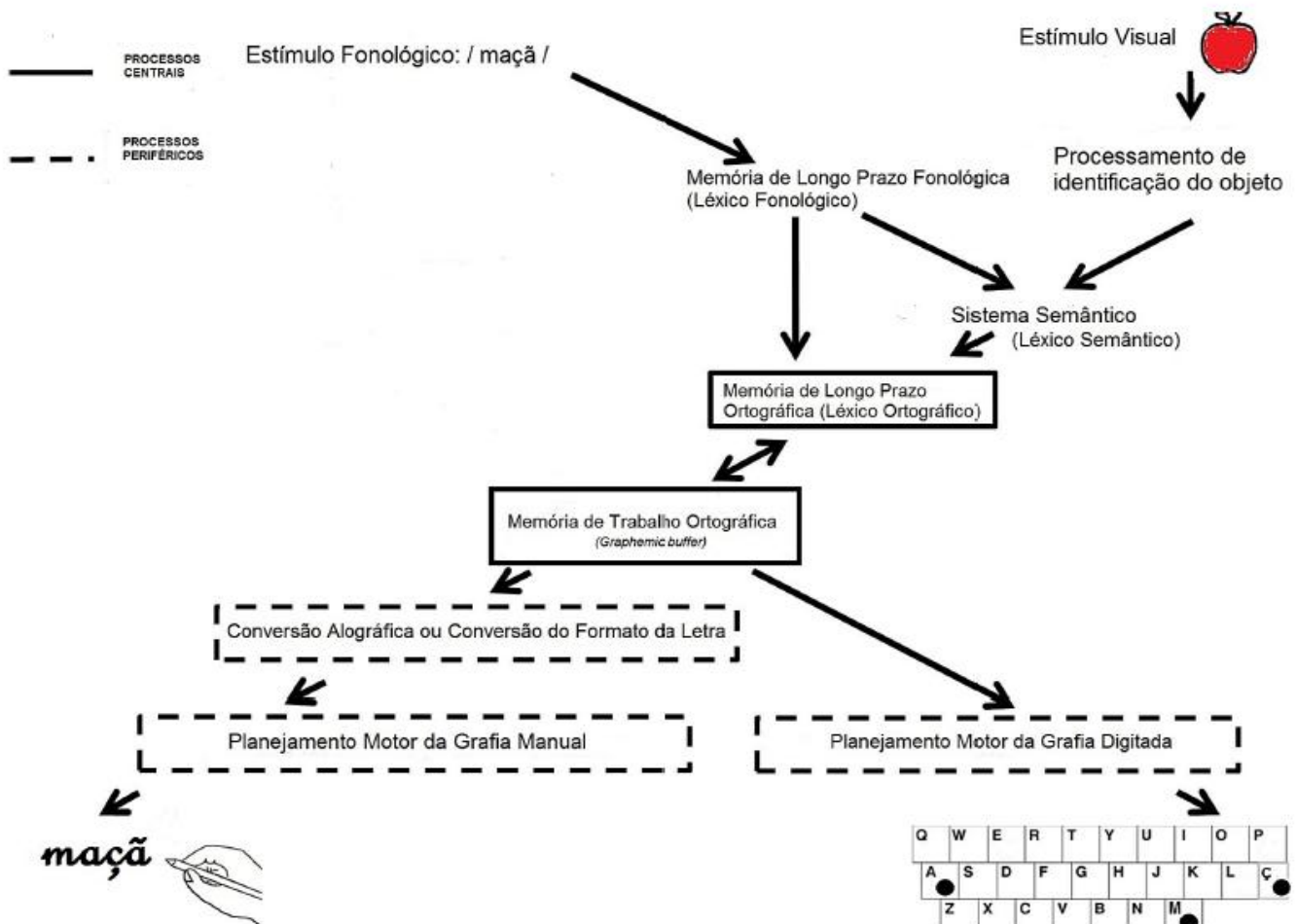
Apesar de algumas palavras familiares terem grande correspondência fonema-grafema, sendo, por isso, chamadas de palavras regulares, como *gota*, *pipa*, *copo*; outras palavras de uma língua têm ambiguidade na escrita, portanto, denominadas de palavras irregulares, não podendo ser escritas pelas regras de conversão fonema-grafema. Por exemplo, as palavras *hora*, *choro* e *casa* se forem escritas pela via sublexical, através da correspondência fonema-grafema, podem ser escritas de forma fonologicamente possível, porém “incorreta” (ex: “ora”, “xoro”, “caza”) (Hillis, 2001; Tainturier & Rapp, 2001). Por conseguinte, foi proposto que as palavras familiares, inclusive aquelas cuja correspondências fonema-grafema são menos previsíveis, são aprendidas e armazenadas no *léxico-ortográfico*, através da via lexical. A integridade desta via de representação lexical é avaliada pela realização de um ditado com palavras irregulares, nomeação, escrita de figuras ou escrita de definições. Na vida real, o *léxico ortográfico* deve estar envolvido na escrita espontânea e, a depender da tarefa, outros componentes que não são específicos da escrita podem estar envolvidos. Por exemplo, o *léxico fonológico*, que armazena a forma falada das palavras familiares, pode estar envolvido na escrita dos ditados assim como na compreensão da fala, e o *sistema semântico*, que é o repositório dos significados das palavras, pode estar envolvido em todas as etapas de compreensão e produção das palavras (Tainturier & Rapp, 2001).

Representações dos Processos Centrais e Periféricos envolvidos na produção da Linguagem Escrita

O processamento da escrita (grafia) normalmente começa por um estímulo visual ou auditivo, como a leitura ou escuta de palavras (por exemplo, tomar notas em uma palestra, uma mensagem por telefone etc.) ou é gerada internamente através de palavras significativas que se originam dos nossos pensamentos. Estes processos semânticos e mecanismos de compreensão visual ou auditiva não são específicos da escrita, mas servem de base para posterior recuperação ou composição de grafias. A produção de palavras escritas requer processos "centrais" (cognitivos ou linguísticos) e processos "periféricos" (motores) (Margolin & Goodman-Schulman, 1992; McCarthy & Warrington, 1990; Planton et al., 2013; Purcell et al., 2011; Purcell & Rapp,

2013; Roeltgen, 2003). Os processos centrais específicos da escrita são normalmente identificados como memória de longo prazo ortográfica (léxico-ortográfico), conversão fonema-grafema e memória de trabalho ortográfica (*graphemic buffer*, cujo termo *buffer*, em computação, significa área da memória que foi alocada para armazenamento temporário de dados (Michaelis, 2014; Planton et al., 2013; Purcell et al., 2011; Purcell & Rapp, 2013). Os processos periféricos da escrita são responsáveis pela realização das ações motoras necessárias para a produção das palavras escritas em uma variedade de formatos, como soletração, manuscrito, digitação etc. (Planton et al., 2013; Purcell et al., 2011; Purcell & Rapp, 2013; Roeltgen, 2003) - Figura 2 e 3, e requisitam uma gama de habilidades cognitivas não linguísticas, como, orientação espacial, habilidades construcionais e discriminação visuoespacial (Benson, 1979).

Figura 2. Representação esquemática da arquitetura cognitiva funcional do sistema de produção escrita pela via lexical

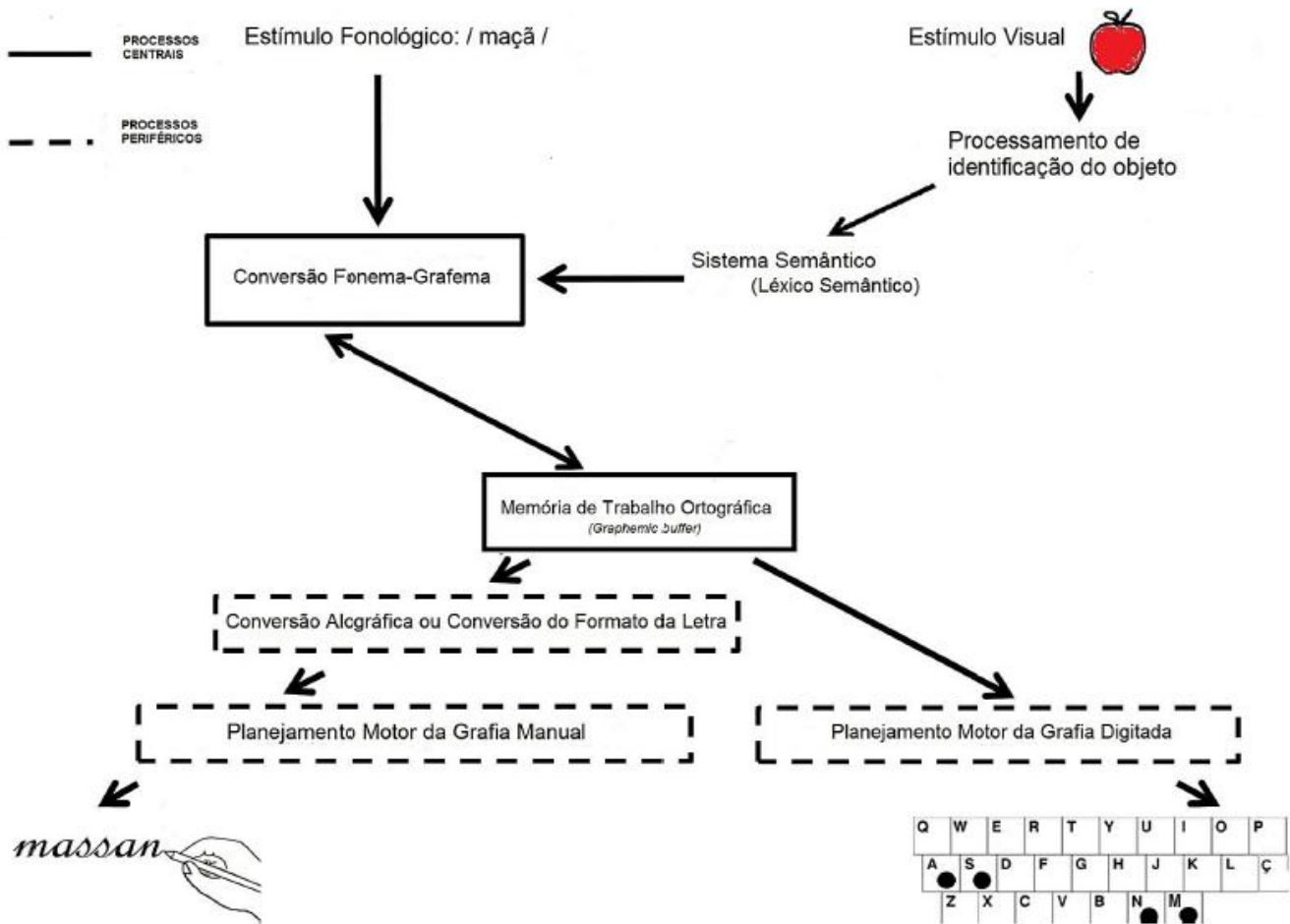


Nota. Modificado de Purcell, Turkeltaub, Eden e Rapp (2011).

A memória de longo prazo ortográfica (léxico ortográfico) é o estoque de grafias das palavras que um indivíduo está familiarizado. Como indicado na Figura 2 e 3, as informações na memória de longo prazo ortográfica podem ser recuperadas a partir do significado da palavra (ex: fruta de cor vermelha que a Branca de Neve mordeu e, então, caiu em sono profundo) ou, diretamente, a partir da representação do som da palavra (ex: /maçã/). Como discutido na seção anterior, além da recuperação das palavras na memória de longo prazo ortográfica (Figura 2), a grafia das palavras pode

ser montada a partir do processo de conversão fonema-grafema pelo estímulo fonológico (Figura 3), que considera as informações aprendidas sobre as relações entre sons e letras (ou outras unidades sublexicais) e gera grafias possíveis para as cadeias sonoras. Por exemplo, o som do estímulo /maçã/ pode resultar na recuperação da informação de MAÇA na memória de longo prazo ortográfica ou na montagem de uma grafia plausível, como MASSAN, pelo sistema de conversão fonema-grafema (Purcell et al., 2011; Purcell & Rapp, 2013).

Figura 3. Representação esquemática da arquitetura cognitiva funcional do sistema de produção escrita pela via sublexical



Nota. Modificado de Purcell, Turkeltaub, Eden e Rapp (2011).

As representações das letras montadas via conversão fonema-grafema ou recuperadas da memória de longo prazo ortográfica são consideradas abstratas, pois não contêm as informações específicas do formato (como forma, tamanho,

planejamento motor etc.). As seqüências de letras abstratas são então processadas pela memória de trabalho ortográfica, que é um sistema de capacidade limitada responsável por manter ativas as informações sobre a identidade e a ordem das

letras que serão selecionadas para posterior processamento dos componentes periféricos (Purcell et al., 2011). Assim, seja a escrita recuperada da memória de longo prazo ortográfica, seja montada via conversão fonema-grafema, suas representações devem ser mantidas ativas na memória de trabalho ortográfica, enquanto cada letra é selecionada para a produção em série. Há evidências consideráveis de que as representações guardadas na memória de trabalho ortográfica não são simplesmente sequências de letras lineares; em vez disso, as representações são estruturadas internamente em composições silábicas e subsilábicas mais refinadas (Dufor & Rapp, 2013).

Em relação ao processamento periférico, acredita-se que existem várias etapas envolvidas desde a representação abstrata das letras na memória de trabalho ortográfica até a correta ordenação e execução dos movimentos específicos dos efetores musculares necessários para expressar essas letras. Esses processos periféricos executam a linguagem escrita nas principais modalidades, como soletração, escrita manual e digitação.

Na soletração, os processos periféricos envolvidos a partir das bases de informações armazenadas na memória de trabalho ortográfica abrangem primeiramente a recuperação, no estoque de palavras da memória de longo prazo fonológica (léxico-fonológico), dos nomes das letras (por exemplo, *eme*, *a*, *cê-cedilha*, *a*) em sua ordem correta. Posteriormente, há o recrutamento dos processos de planejamento articulatorio e fonético da fala para a produção oral dos nomes das letras.

No caso da escrita manual, as formas específicas das letras ou alógrafos devem ser previamente selecionadas (maiúsculas, minúsculas, de imprensa, cursiva etc.). O mecanismo responsável pela conversão das letras abstratas guardadas na memória de trabalho ortográfica nas formas específicas das letras é, muitas vezes, referido como conversão alográfica ou conversão do formato da letra (Purcell et al., 2011). Após a conversão alográfica, são montados os planos motores para produção das formas das letras pelos processos de planejamento motor da grafia, especificando características tais como o tamanho e a sequência dos traços, por exemplo, ex.: letra T = traço vertical + traço horizontal (Dufor & Rapp, 2013; Purcell et al., 2011). Em seguida, a programação dos efetores motores específicos compila as instruções para o membro que será utilizado na realização das ações motoras (por exemplo, a mão direita ou esquerda, pé etc.). A programação e a execução das ações dos efetores específicos é subordinada ao *feedback* multimodal durante a execução (tátil, visual etc.).

A digitação requer a produção de uma série de comandos motores para os dedos e as mãos a fim de gerar as letras armazenadas na memória de trabalho ortográfica no espaço padronizado do teclado. Se considerarmos um datilógrafo experiente, os planos motores podem ser armazenados e/ou pré-compilados não apenas como letras

individuais, mas também como “pedaços” grafêmicos maiores, permitindo a rápida produção das sequências de letras. O planejamento motor na digitação é sensível ao sequenciamento próprio de cada letra, com o planejamento do tempo dos movimentos da mão para as várias letras ocorrendo normalmente em paralelo. Como resultado, os movimentos necessários para a produção de cada letra são modulados pelo contexto imediatamente anterior e o seguinte, o que é, por vezes, referido como coarticulação. Os programas motores utilizados na digitação também exigem parametrização de variáveis, tais como a velocidade de digitação, tamanho do teclado etc. (Purcell et al., 2011).

Neurotopografia da Linguagem Escrita

Mirando os correlatos neurais dos componentes centrais e periféricos do processamento da escrita, os resultados de vários estudos com indivíduos com agrafias adquiridas decorrentes de lesões neurológicas (geralmente, secundárias a acidente vascular cerebral, mas também decorrentes de ressecção cirúrgica e doença neurológica progressiva), indicam, consistentemente, que os processos centrais de ortografia são promovidos em uma rede de regiões (Ellis, 1982; Margolin & Goodman-Schulman, 1992; Beeson, Rapsak, Plante, Chargualaf, Chung & Johnson, 2003; Roeltgen, 2003; Ellis & Ellis, 2014), incluindo o giro fusiforme/giro temporal inferior, giro temporal médio, giro temporal superior, giro frontal inferior, giro angular e giro supramarginal. Esses estudos baseados em lesões neurológicas também sugerem que os processos periféricos têm sido mais consistentemente associados com uma rede frontoparietal esquerda, incluindo, mas não se limitando, ao córtex pré-motor dorsal e lobo parietal superior. Há também descrições de sujeitos com agrafias periféricas associadas com lesões nas regiões neurais envolvidas no processamento motor geral, ou seja, regiões não relacionadas especificamente com a produção de linguagem escrita, tais como o córtex motor, cerebelo e várias estruturas subcorticais, como o caudado, o putâmen e o tálamo. Além disso, há também as agrafias espaciais, que têm sido associadas a algumas formas de negligência espacial (Purcell et al., 2011).

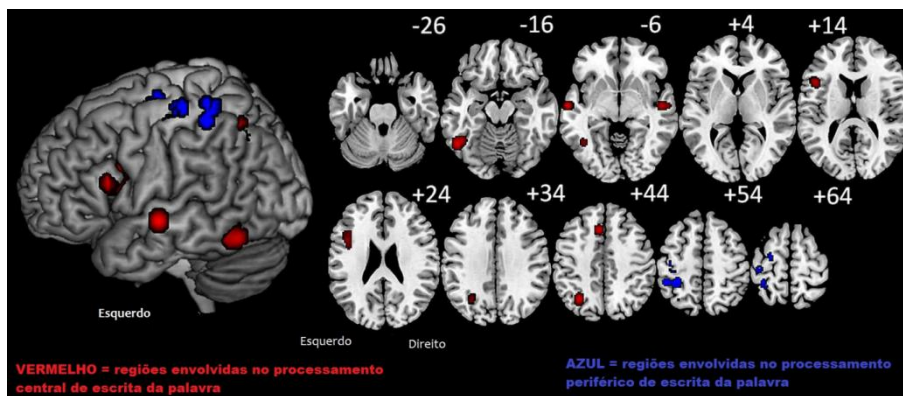
Embora a literatura com estudos com lesão neurológica forneça informações sobre os substratos necessários para a produção da linguagem escrita, as localizações exatas são normalmente bastante difíceis de identificar (Dufor & Rapp, 2013). Assim, esses estudos têm sido complementados por técnicas de neuroimagem funcional em indivíduos saudáveis, ou seja, intactos de lesões neurológicas (Beeson et al., 2003). Nos últimos anos, numerosos estudos com neuroimagem funcional (como ressonância magnética ou PET) em indivíduos neurologicamente intactos têm sido realizados a fim de avaliar os processos de produção da linguagem escrita. Esses estudos

de neuroimagem funcional da produção escrita, no geral, podem ser agrupados em dois tipos: os que fazem uso de tarefas que envolvem apenas o processamento central e os que fazem uso de tarefas que combinam tanto o processamento central quanto o periférico. Por exemplo, os primeiros incluem tarefas para acessar a escrita de uma palavra, mas que não envolvem a escrita manual nem digitação. Já os estudos que envolvem os processamentos central e periférico já incluem tarefas de escrever ou digitar palavras (Purcell et al., 2011).

Duas metanálises foram realizadas recentemente com neuroimagem funcional: a metanálise de Purcell et al. (2011), mais direcionada para os estudos que pesquisaram os aspectos centrais e lexicais da produção da escrita (Figura 4), e o estudo de Planton et al. (2013), que focou nos aspectos motores da produção da escrita. Ambos os estudos identificaram as seguintes áreas envolvidas com a escrita:

giro/sulco frontal superior esquerdo (Brodmann 6), giro pré-central esquerdo (Brodmann 4), giro pós-central esquerda (Brodmann 3), áreas motoras suplementares (Brodmann 6), lobos parietais superior e inferior esquerdo (Brodmann 7 e 40, respectivamente), giro temporal inferior/giro fusiforme esquerdo (Brodmann 37), cerebelo direito e, subcorticalmente, tálamo e putâmen esquerdos. O giro fusiforme, o giro frontal inferior e algumas áreas dos lobos parietais superior e inferior esquerdo estão relacionados com os componentes centrais da grafia das palavras, como o léxico e a memória de trabalho processual. Já as áreas como o giro/sulco frontal superior esquerdo, o giro pré-central, as áreas dos lobos parietais inferior e superior esquerdo e o cerebelo direito estão mais intimamente relacionadas com o planejamento motor e a programação da escrita (Planton et al., 2013; Purcell et al., 2011).

Figura 4. *Substratos neurais envolvidos no processamento central e periférico de produção escrita da palavra utilizando o método Activation Likelihood Estimate (ALE). À esquerda, os resultados estão projetados em um modelo de cérebro padrão e, à direita, em cortes axiais.*



Nota. Modificado de Purcell, Turkeltaub, Eden e Rapp (2011).

Considerações Finais

A linguagem escrita além de ser uma valiosa ferramenta de transmissão de ideias e conhecimentos, representa uma função cognitiva primordial nas civilizações contemporâneas. É intrigante como o cérebro humano é capaz de empregar signos gráficos para representar a linguagem oral.

Dois modelos cognitivos de representação da escrita foram expostos, a via lexical, que compreende a ativação de uma representação léxico-ortográfica (memória de longo prazo ortográfica), permitindo a recordação da escrita da palavra, e a via sublexical, com mecanismos fonológicos de conversão fonema-grafema. A fim de promover a grafia desejada, as representações das letras montadas via conversão fonema-grafema ou recuperadas da memória de longo prazo ortográfica são, então, alocadas por uma memória de

armazenamento temporário de dados, chamada de memória de trabalho ortográfica (*graphemic buffer*). Depois do processamento central da escrita, efetuado pela memória de longo prazo ortográfica (léxico-ortográfico) ou conversão fonema-grafema e pela memória de trabalho ortográfica, a linguagem escrita é executada nas suas principais modalidades, como soletração, escrita manual e digitação através dos processos periféricos, que abrangem a conversão alográfica, o planejamento motor e processos específicos de cada forma de expressão da escrita.

Essa arquitetura funcional da escrita envolve mecanismos complexos que abrangem múltiplas particularidades dos processos cognitivos e de substratos neurais do cérebro humano ainda pouco conhecidos. Embora a localização precisa seja difícil, há evidências de que o giro fusiforme, o giro frontal inferior e algumas áreas dos lobos parietais superior e inferior esquerdo estão relacionados com

os componentes centrais e que o giro/sulco frontal superior esquerdo, o giro pré-central, as áreas dos lobos parietais inferior e superior esquerdo e o cerebelo direito estão mais relacionadas com o processamento periférico da escrita.

Por fim, a escrita ainda é pouco estudada, em especial na literatura latino-americana. Futuras investigações ainda são necessárias para delinear melhor as agrafias centrais e periféricas e estudar as possíveis formas de avaliar e reabilitar os indivíduos com agrafia. O conhecimento de como ocorre o processamento da escrita em nosso cérebro proporciona uma melhor compreensão e caracterização dos sintomas apresentados pelos pacientes com agrafias, a inferência sobre quais as possíveis conexões cerebrais estariam comprometidas e o possível desenvolvimento de novas abordagens diagnósticas e terapias futuras para os pacientes com agrafias, gerando novas perspectivas nas áreas da neurolinguística, neuropsicologia clínica cognitiva e desenvolvimental. Ademais, este conhecimento pode promover o desenvolvimento de novas técnicas de intervenção neuropsicológica.

Referências

- Ardila, A. (2012). Neuropsychology of Writing. Em Grigorenko, E. L., Mambrino, E. & Preiss, D. D. (Eds.). *Writing: a mosaic of new perspective*. (pp. 309-321). Psychology Press. Francis & Taylor.
- Ardila, A., Bertolucci, P. H., Braga, L. W., Castro-Caldas, A., Judd, T., Kosmidis, M. H., Matute, E., Nitrini, R., Ostrosky-Solis, F., & Rosselli, M. (2010). Illiteracy: The Neuropsychology of Cognition Without Reading. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 25, 689-712. doi: 10.1093/arclin/acq079
- Benson, D. F. (1979). Agraphia. Em Benson, D. F. *Aphasia, alexia and agraphia. Clinical neurology and neurosurgery monographs*. v.1. (pp.121-128). New York: Churchill Livingstone.
- Beeson, P. M., Rapcsak, S. Z., Plante, E., Chargualaf, J., Chung, A., Johnson, S. C., Trouard, T. P. (2003). The neural substrates of writing: a functional magnetic resonance imaging study. *Aphasiology*, 17(6/7), 647-665. doi:10.1080/02687030344000067
- Bertram, R., Tonnessen, F. E., Strömqvist, S., Hyönä, J., & Niemi, P. (2015). Cascaded processing in written compound word production. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. doi: 10.3389/fnhum.2015.00207
- Breitenfeld, T., Jurasic, M. J., & Breitenfeld, D. (2014). Hippocrates: the forefather of neurology. *Neurological Sciences*, 35(9), 1349-1352. doi: 10.1007/s10072-014-1869-3
- Chomsky, N. (1998). *Linguagem e mente: pensamentos atuais sobre antigos problemas*. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- Dronkers, N. F., Pinker, S., & Damásio, A. (2000). A linguagem e as afasias. Em Kandel, E. R., Schwartz J. H., & Jessel, T. M. (Eds.). *Princípios da neurociência*. (pp. 1169-1187). São Paulo: Manole.
- Dufor, O., & Rapp, B. (2013). Letter representations in writing: an fMRI adaptation approach. *Front Psychol*, 4, 781. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00781
- Ellis, A. W. (1982). Spelling and Writing (and Reading and Speaking). Em Ellis, A. W. *Normality and Pathology in Cognitive Functions*. (pp. 113-146). London, Academic Press.
- Ellis, A. W. & Ellis, A. W. Y. (2014). Spelling and Writing. Em Ellis, A. W. & Young, A. W. *Human Cognitive Neuropsychology*. (cap. 7). Psychology Press, Taylor & Francis Group.
- Grande, M., Meffert, E., Schoenberger, E., Jung, S., Frauenrath, T., Huber, W., Hussmann, K., Moormann, M. & Heim, S. (2012). From a concept to a word in a syntactically complete sentence: An fMRI study on spontaneous language production in an overt picture description task. *Neuroimage*, 61(3), 702-714. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.03.087
- Haase, D. (1993). Yours, mine, or ours? Perrault, the Brothers Grimm, and the ownership of fairy tales. *Merveilles & Contes*, 383-402. doi: 10.2307/41390373
- Harris, J. C. (2010). Galileo Galilei: scientist and artist. *Archives of General Psychiatry*, 67(8), 770-771. doi:10.1001/archgenpsychiatry.2010.95.
- Hillis, A. E. (2001). The Organization of the Lexical System. Em Rapp, B. *Handbook of Cognitive Neuropsychology: What Deficits Reveal About the Human Mind*. (pp. 185-210). Psychology Press, Taylor & Francis Group.
- Kato, M. A. (1986). *No mundo da escrita: uma perspectiva psicolinguística*. São Paulo: Ática.
- Kristeva, J., Barahona, M. (1969). *História da linguagem*. Lisboa, Portugal: Ed. 70.
- Ludersdorfer, P., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2015). Accessing orthographic representations from speech: The role of left ventral occipitotemporal cortex in spelling. *Human Brain Mapping*, 36(4), 1393-1406. doi: 10.1002/hbm.22709
- Maduro, D. (2006). *Escrita pictográfica: um texto feito de imagens*. Coimbra: Universidade de Coimbra, mar. Retirado de <http://www.ci.uc.pt/diglit/DigLitWebCdeCodiceeComputadorEnsaio27.html>.
- Margolin, D. I., & Goodman-Schulman, R. (1992). Oral and Written Spelling Impairments. Em Margolin, D. I. *Cognitive neuropsychology in clinical practice*. (pp. 263-297). New York: Oxford University Press.

- Marvels & Tales. (2005) The Fairy Tales of the Brothers Grimm Accepted into UNESCO's Memory of the World Registry. , 19(2), 350-354. doi: 10.1353/mat.2005.0038
- McCarthy, R. A. & Warrington, E. K. (1990). Spelling and writing. Em McCarthy, R. A., & Warrington, E. K. *Cognitive neuropsychology: a clinical introduction*. (pp. 241-261). Gulf Professional Publishing.
- Michaelis (2014). *Moderno Dicionário da Língua Portuguesa*. Melhoramentos. Retirado de www.uol.com.br/michaelis
- Planton, S., Jucla, M., Roux, F. E. & Démonet, J. F. (2013). The “handwriting brain”: a meta-analysis of neuroimaging studies of motor versus orthographic processes. *Cortex*, 49(10), 2772-87. doi: 10.1016/j.cortex.2013.05.011
- Potgieser, A. R., van der Hoorn, A., & de Jong, B. M. (2015). Cerebral Activations Related to Writing and Drawing with Each Hand. *PloS one*, 10(5), e0126723. doi:10.1371/journal.pone.0126723
- Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197(03), 335-359. doi: 10.1046/j.1469-7580.2000.19730335.x
- Purcell, J. J., & Rapp, B. (2013). Identifying functional reorganization of spelling networks: an individual peak probability comparison approach. *Front Psychol.*, 4, 964. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00964
- Purcell, J. J., Napoliello, E. M., & Eden, G. F. (2011). A combined fMRI study of typed spelling and reading. *Neuroimage*, 55(2), 750-762. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.11.042
- Purcell, J. J., Turkeltaub, P. E., Eden, G. e F. & Rapp, B. (2011). Examining the central and peripheral processes of written word production through meta-analysis. *Front Psychol*, 2, 1-16. doi: 10.3389/fpsyg.2011.00239
- Rapp, B., & Dufor, O. (2011). The neurotopography of written word production: an fMRI investigation of the distribution of sensitivity to length and frequency. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(12), 4067-4081. doi:10.1162/jocn_a_00109
- Rapp, B., & Lipka, K. (2011). The Literate Brain: The Relationship between Spelling and Reading. *J Cogn Neurosci.*, 23(5), 1180-1197. doi: 10.1162/jocn.2010.21507
- Rapp, B., Fischer-Baum, S., & Miozzo, M. (2015). Modality and Morphology What We Write May Not Be What We Say. *Psychological Science*, 0956797615573520. doi: 10.1177/0956797615573520
- Roehrich-Gascon, D., Small, S. L., & Tremblay, P. (2015). Structural correlates of spoken language abilities: A surface-based region-of interest morphometry study. *Brain and Language*, 149, 46-54. doi:10.1016/j.bandl.2015.06.004
- Roeltgen, D. P. (2003). Agraphia. Em Heilman, K. M., & Valenstein, E. (Eds). *Clinical Neuropsychology*. (pp. 126-145). Oxford: Oxford University Press.
- Rogers, H. (2005). *Writing systems: a linguistic approach*. Blackwell Publishing.
- Saussure, F. de. (2006). *Curso de linguística geral*. São Paulo: Cultrix. (originalmente publicado em 1916).
- Seabra, A. G. S., & Capovilla, F. C. (2004). *Problemas de leitura e escrita: como identificar prevenir e remediar numa abordagem fônica*. Memmon.
- Tainturier, M. J., & Rapp, B. (2001). The Spelling Process. Em Rapp, B. *Handbook of cognitive neuropsychology: what deficits reveal about the human mind*. (pp. 263-289). Psychology Press, Taylor & Francis Group.
- Talacchi, A., Casartelli, M., Capasso, R., & Miceli, G. (2013). Awake surgery between art and science. Part II: language and cognitive mapping. *Functional Neurology*, 28(3), 223. doi: 10.11138/FNeur/2013.28.3.223
- Taylor, J. S. H., Rastle, K., & Davis, M. H. (2013). Can cognitive models explain brain activation during word and pseudoword reading? A meta-analysis of 36 neuroimaging studies. *Psychological Bulletin*, 139(4), 766. doi: 10.1037/a0030266
- Treiman, R., & Kessler, B. (2013). Learning to Use an Alphabetic Writing System. *Language Learning and Development*, 9(4), 317-330. doi:10.1080/15475441.2013.812016
- Treiman, R., Seidenberg, M. S., & Kessler, B. (2015). Influences on spelling: evidence from homophones. *Language, Cognition and Neuroscience*, 30(5), 544-554. doi: 10.1080/23273798.2014.952315
- Woods, C. E., Emberling, G., Teeter, E., & Institute, U. O. C. O. (2010). *Visible language: inventions of writing in the ancient middle east and beyond*. Oriental Institute of the University of Chicago.
- Zhu, L., Nie, Y., Chang, C., Gao, J. H., & Niu, Z. (2014). Different patterns and development characteristics of processing written logographic characters and alphabetic words: an ALE meta-analysis. *Human Brain Mapping*, 35(6), 2607-2618 doi: 10.1002/hbm.22354
- Zhu, L., Nie, Y., Chang, C., Gao, J. H., & Niu, Z. (2014). Different patterns and development characteristics of processing written logographic characters and alphabetic words: An ALE meta- analysis. *Human Brain Mapping*, 35(6), 2607-2618. doi: 10.1002/hbm.22354