

Luís Miguel Correia Casaca

**SENSIBILIDADE DO COMPONENTE N170 À
NATUREZA ORTOGRÁFICA DO ESTÍMULO**



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências Humanas e Sociais

2017

Luís Miguel Correia Casaca

SENSIBILIDADE DO COMPONENTE N170 À NATUREZA ORTOGRÁFICA DO ESTÍMULO

Mestrado em Neurociências Cognitivas e Neuropsicologia

Trabalho elaborado sob a orientação de:

Professor Doutor Luís Faísca

Professora Doutora Susana Araújo



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

Faculdade de Ciências Humanas e Sociais

2017

Declaração de Autoria de Trabalho

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

(Dr. Luís Miguel Correia Casaca)

Copyright, em nome de Luís Miguel Correia Casaca

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Resumo

O sistema visual dos indivíduos letrados possui *expertise* no reconhecimento visual de palavras, indicando que o ser humano processa a palavra escrita de uma maneira distinta e mais específica do que outros estímulos visuais (McCandliss, Cohen, & Dehaene, 2003). Esta *expertise* do sistema visual manifesta-se através um pico de atividade eletrofisiológica que surge cerca de 170ms após a apresentação do estímulo visual (o N170), que é considerada uma resposta cerebral específica ao código ortográfico (*coarse tuning to print*) e que tem sido usado como marcador neuronal da experiência de leitura. Neste estudo pretende-se averiguar se, em leitores experientes, o N170 é sensível a características pós-lexicais do estímulo ortográfico, nomeadamente o seu estatuto lexical (palavra *versus* pseudopalavra) e sua consistência grafema-fonema, e se essa sensibilidade depende do nível de competência de leitura. Participaram neste estudo 42 sujeitos adultos (30 do sexo feminino, idades entre 17 e 32 anos, escolaridade ao nível do Ensino Superior), tendo sido registada a sua atividade elétrica cerebral durante uma prova de leitura implícita. Os resultados obtidos mostram um forte efeito de hemisfério em que a amplitude do N170 é maior no hemisfério esquerdo e um efeito de consistência moderadamente significativo onde a amplitude do N170 é maior em palavras onde existe consistência grafema-fonema. Foi ainda apurado um efeito de lexicalidade significativo. Por fim, a perícia de leitura parece não estar associada à magnitude do componente N170.

Palavras-Chave: Leitura, *fine tuning*, *coarse tuning*, ERP, N170, reconhecimento visual de palavras.

Abstract

The visual system of a literate person possesses a specialization for visual word recognition, thus indicating that human beings process written words on a more distinct and specific way, differently than how they process any other kind of visual stimuli. One manifestation of this specialization is a peak of electrophysiological activity that appears roughly 170ms post-stimuli (component N170). This component is considered a specific cerebral response to orthographic code, and has been used as a neuronal marker for reading expertise. In the present study, we aim to find out if the N170 component is

sensible to post-lexical characteristics of the orthographic stimuli, namely its lexical status (word *versus* pseudoword), and its grapheme-phoneme consistency, and if this sensibility depends on reading ability. 42 subjects participated in this study (30 of those females, ages between 17 and 32 years old, college students) in which their cerebral activity was recorded during an implicit reading task. Results show a strong effect of hemisphere, in which the N170 response is larger on the left, and a consistency effect moderately significant, where the N170 response is larger on words that show grapheme-phoneme consistency. The lexicality effect was also significant. Finally, the subjects' reading ability level do not seem to be associated with the N170 component magnitude.

Keywords: reading, *fine tuning*, *coarse tuning*, ERP, N170, visual word recognition.

Índice

Capítulo I - Revisão da Literatura	6
Processos visuais e cognitivos envolvidos na leitura	6
O Contributo da Eletrofisiologia para o estudo do reconhecimento da palavra.....	10
A hipótese do mapeamento fonológico.....	12
Especificidade do processamento ortográfico associada à resposta N170: <i>Coarse tuning</i> e <i>fine tuning to print</i>	13
Capítulo II - Método.....	17
Participantes	17
Medidas.....	18
Procedimento.....	20
Análise dos dados ERP	21
Capítulo V – Resultados.....	23
Resultados Comportamentais.....	23
Resultados Eletrofisiológicos.....	23
Capítulo VI - Discussão	28
Referências.....	31

Índice de tabelas

Tabela 1 – Dados de caracterização da amostra.....	17
Tabela 2 – Medidas de leitura e efeitos registados no N170.....	27

Índice de figuras

Figura 1 - Amplitude da componente N170 em função da consistência ortográfica do estímulo e da lateralização da resposta.....	24
Figura 2 - Amplitude da componente N170 em função da natureza lexical do estímulo e da lateralização da resposta.	25
Figura 3 - Amplitude da componente N170 em função da natureza lexical do estímulo, da sua consistência ortográfica e da lateralização da resposta.	26

Capítulo I - Revisão da Literatura

Processos visuais e cognitivos envolvidos na leitura

A leitura é um processo complexo, que envolve uma cadeia de processos visuais e cognitivos. O primeiro destes processos consiste na extração de informação visual detalhada a partir da palavra escrita. Os leitores começam por processar as características visuais elementares das letras que constituem a palavra e em seguida a posição relativa que estas ocupam na palavra – trata-se do processamento ortográfico pré-lexical (Caramazza & Hillis, 1990). Uma vez extraída esta informação ortográfica pode então ser usada pelos leitores mais hábeis para reconhecer rápida e diretamente palavras familiares, ativando as representações ortográficas que se encontram armazenadas em memória e acedendo assim diretamente ao seu significado e fonologia.

A ideia de que os leitores desenvolvem um sistema específico para o reconhecimento visual rápido de palavras familiares (denominado “léxico mental”) é relativamente consensual na literatura. O léxico mental inclui todas as palavras conhecidas pelo sujeito e permite-lhe aceder diretamente ao significado de uma palavra a partir da sua apresentação escrita (“acesso lexical” ou “seleção lexical”; Dehaene, 2010). Esta capacidade de reconhecimento visual de palavras familiares exige a existência de representações abstratas da palavra, independentemente da sua fonte e tamanho (Cohen & Dehaene, 2004; McClelland, Cohen, & Dehaene, 2003). Contudo, há autores que discordam desta perspetiva, sugerindo que a razão pela qual o reconhecimento visual de palavras familiares é tão rápido e fácil é porque existem múltiplas representações do mesmo padrão visual da palavra nos níveis mais inferiores do processamento visual. Ou seja, existiriam padrões específicos do estímulo memorizados numa determinada região

retinotópica mapeada, adquiridos através de um extenso treino de reconhecimento desse *input* (Nazir & Huckauf, 2007).

Os estudos de neuroimagem funcional (fMRI) têm associado o reconhecimento da palavra escrita com uma larga rede neuronal distribuída por várias áreas cerebrais, predominantemente no hemisfério esquerdo, que lida com o processamento ortográfico, fonológico e semântico. Especificamente, considera-se que para ler são necessários três sistemas neuronais principais: um sistema anterior, que compreende a circunvolução frontal inferior envolvido na análise da palavra (descodificação), um sistema posterior que se encontra na região temporoparietal (inclui as circunvoluções angular e supramarginal, bem como a circunvolução temporal superior, na qual se localiza a Área de Wernicke) e é responsável pela integração das características perceptivas da palavra escrita na estrutura fonológica e semântica da linguagem; e o outro sistema posterior, mais inferior na região occipitotemporal, responsável pela fluência e automatismo da leitura (Price & Mechelli, 2005; Schlaggar & McCandliss, 2007; Shaywitz & Shaywitz, 2008).

Estes estudos de neuroimagem funcional têm demonstrado que quer o aumento da familiaridade com palavras específicas, quer o aumento da fluência da leitura estão associados a uma alteração progressiva na ativação dos sistemas corticais envolvidos na leitura – de sistemas predominantemente dorsais (temporoparietais) para sistemas ventrais (occipitotemporais). Estes dados de neuroimagem apoiam assim a ideia de que, no desenvolvimento normal da capacidade de leitura, os leitores progridem de uma estratégia de descodificação fonológica para um reconhecimento automático e eficiente da palavra analisada como um todo (Ehri, 1995, Frith, 1986). À medida que os leitores fazem essa progressão, também o uso das vias dorsal e ventral é diferente. O uso da via ventral que faz a ligação entre a área de Broca e a área de Wernicke é observado tão cedo

como em recém-nascidos, o que indica que é utilizada na estratégia de decodificação fonológica. Ao longo do tempo em que o leitor progride para um reconhecimento automático e integral da palavra, começa-se a evidenciar o uso da via dorsal, que faz a ligação entre o córtex temporal e pré-motor. Esta observa-se após a infância, e está envolvida em funções linguísticas complexas. (Brauer, 2013).

Atualmente, um dos principais temas de debate em neurociências cognitivas centra-se no papel que a circunvolução fusiforme esquerda desempenha na aquisição da capacidade de leitura, uma vez que é nesta zona que se localiza a *Visual Word Form Area* (VWFA). Numa perspetiva anatómica, esta área desempenha um papel mais inicial no processamento dos estímulos escritos. A sua ativação neuronal é superior perante palavras ou pseudopalavras do que perante estímulos compostos por pseudoletas (“falsas fontes”) ou constituídos apenas por sequências de consoantes. Desta forma, é unanimemente aceite que a circunvolução fusiforme esquerda se envolve no processamento ortográfico dos estímulos visuais. Contudo, existe controvérsia sobre a informação específica que é analisada por esta área e qual a sua sensibilidade a mecanismos *top-down*.

Uma posição teórica é que na VWFA se realiza uma análise pré-lexical, específica para palavras escritas, que computa e armazena representações ortográficas pré-lexicais visuais e abstratas, e que o faz de forma *feedforward* (Carreiras et. al., 2014). Outra posição teórica defende que a ativação desta área é modulada por propriedades linguísticas de ordem superior, tais como a fonologia, morfologia ou semântica do estímulo em processamento (Grainger & Ziegler, 2011). Estas duas perspetivas fornecem diferentes pontos de vista a respeito da leitura: na primeira (*feedforward*), a informação ortográfica obtida visualmente é processada em série, em etapas hierarquicamente organizadas, onde a primeira corresponde ao *input* visual, seguindo-se a formação de letras, reconhecimento lexical ortográfico e finalmente, a semântica e/ou fonologia. Já na

segunda perspectiva (interativa), considera-se que a informação visual interage de uma maneira dinâmica por toda a rede ortográfica, lexical, fonológica e semântica (Carreiras et. al., 2014).

Existem duas versões da perspectiva de *feedforward*. A primeira assume uma modularidade estrutural, o que significa que o processamento ortográfico não é influenciável por outras dimensões linguísticas. Aqui o processamento que acontece dentro do sistema ortográfico acontece de forma *bottom-up* a partir da informação linguística mais básica até à formação de palavras completas (Andrews, 2006). Já a segunda versão implica à mesma modularidade, mas temporal. Ou seja, o sistema de reconhecimento de palavras está programado para que o processamento da palavra escrita continue até que a unidade ortográfica da palavra seja reconhecida. Só depois a representação ortográfica fará contacto com outras informações linguísticas, como a fonologia, morfologia e semântica, de uma maneira *top-down* (Davis, 2012).

A perspectiva dos modelos de ativação interativa argumenta que existe uma interatividade completa entre as representações de nível inferior e superior, em todos os níveis de processamento (McClelland & Rumelhart, 1981). De acordo com esta perspectiva teórica, a informação linguística de nível superior (que não são puramente ortográficas) modulam as propriedades distribucionais das letras em determinada língua, e o sistema de reconhecimento da palavra utiliza essa informação de maneira a tornar a leitura mais eficiente (i.e, mais rápido e com maior exatidão).

Em suma, a leitura pode ser explicada na perspectiva de dois tipos de modelos: modelos de *feedforward*, que assumem a existência de etapas de processamento organizadas hierarquicamente, sendo a palavra primeiramente reconhecida através das suas características ortográficas e só posteriormente se acedendo à sua fonologia e semântica; modelos de ativação interativa, que defendem que o sistema de leitura é

interativo e permite um *feedback* dos níveis superiores de processamento sobre as fases de processamento visual (McClelland & Rumelhart, 1981), através de mecanismos *top-down*. Porque diferentes linguagens são caracterizadas por diferentes relações entre ortografia, fonologia e semântica, a ideia atual de que os modelos interativos que por sua vez permitem que estas características apareçam numa fase inicial do processamento, explicam melhor as diferenças substanciais entre linguagens observadas no processamento ortográfico inicial (Frost, 2012).

O Contributo da Eletrofisiologia para o estudo do reconhecimento da palavra

Os potenciais evocados relacionados com eventos (ERP) são medidas eletrofisiológicas e, como tal, têm melhor resolução temporal (na ordem dos milissegundos) do que as medidas hemodinâmicas. Têm por isso sido muito úteis em isolar os processos cognitivos que ocorrem durante as tarefas de reconhecimento de palavras. A especialização cerebral para os aspetos visuais das palavras tem sido captada pelo componente electrofisiológico N170 (também designado por N1 ou “potencial de reconhecimento de palavras”), relacionado com a perícia na leitura (Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999). O N170 consiste num pico negativo que ocorre, aproximadamente, 150-200 ms após o início do estímulo visual, e é significativamente aumentado na presença de estímulos ortográficos tais como palavras e pseudopalavras quando comparadas com outros itens de controlo como símbolos e formas (Bentin et al., 1999; Brem et al., 2009; Helenius, Tarkiainen, Cornelissen, Hansen, & Salmelin, 1999; Maurer, Brem, Bucher, & Brandeis, 2005; Maurer et al., 2006; Wong, Gauthier, Wroch, DeBuse, & Curran, 2005). Estudos longitudinais realizados com crianças, antes e após a aprendizagem da leitura, revelaram que rápidos processos cognitivos, enquanto índices para a sensibilidade do N170 ao material ortográfico

impresso, desenvolvem-se rapidamente à medida que as crianças aprendem a ler, tão precocemente como as etapas iniciais da aquisição da leitura (Maurer et al., 2007; Maurer et al., 2006; Eberhard-Moscicka, Jost, Raith, & Maurer, 2014). Para além disso, têm-se recolhido evidências de que a especificação do N170 para material ortográfico, em leitores normais, segue uma trajectória de desenvolvimento não linear, sendo que o seu pico ocorre em leitores inexperientes e decresce com a idade (Brem et al., 2009; Maurer et al., 2006). A maior sensibilidade do N170 nas fases iniciais de aquisição da leitura – ou seja, quando os modelos de leitura enfatizam a importância da descodificação grafema-fonema – pode reflectir o aumento da plasticidade cerebral e da perícia visual para a escrita que emerge nesta altura.

Estudos com registos intracranianos e com magnetoencefalografia (MEG) têm localizado respostas selectivas para letras no período temporal do N170, e nas regiões occipitotemporais inferiores, predominantemente do hemisfério esquerdo (Nobre, Allison, & McCarthy, 1994; Tarkiainen, Cornelissen, & Salmelin, 2002; Tarkiainen et al., 1999). Portanto, tem sido proposto que a resposta electrofisiológica do N170 para palavras apresentadas visualmente pode associar-se à activação cortical da VWFA da circunvolução fusiforme esquerda, relatada nos estudos de neuroimagem (Allison, McCarthy, Nobre, Puce, & Belger, 1994; Brem et al., 2006; Maurer, Brem et al., 2005). Desta forma, o N170 pode ser interpretado como um índice do processamento específico de letras (Tarkiainen et al., 1999). Um resultado importante é o de que esta especialização do N170 relacionada com a leitura pode ser detectada independentemente da estrutura ortográfica (opaca vs transparente) do sistema de escrita em que a criança aprendeu a ler (e.g., ortografia de profundidade média: Araújo, Faísca, Bramão, Petersson, & Reis, 2012; ortografia opaca: Maurer, Brandeis, & McCandliss, 2005; ortografia transparente:

Maurer, Brem et al., 2005); no entanto, o efeito topográfico lateralizado à esquerda poder ser, até certa medida, específico ao sistema ortográfico.

A lateralização à esquerda da resposta eletrofisiológica do N170 ao material ortográfico tem sido proposta como um fenómeno diferenciador da leitura de palavras *versus* outras formas de perícia visual (Maurer, Brandeis et al., 2005; Maurer & McCandliss, 2007). Esta resposta reflecte um efeito de treino cognitivo específico, “*tuning to print*”, o que é apoiado por estudos realizados com populações com diferentes níveis de perícia de leitura. Por exemplo, o *print tuning* expresso por uma típica modulação lateralizada à esquerda do N170 não emerge antes da aprendizagem formal da leitura (Maurer, Brem et al., 2005) e é reduzido nos grupos com menor perícia de leitura, tal como em leitores principiantes (para os quais o componente N170 é lateralizado à direita ou bilateral) e em leitores com dislexia de desenvolvimento (Araújo et al., 2012; Hasko, Groth, Bruder, Bartling, & Schulte-Körne, 2013; Helenius et al., 1999; Mahé, Bonnefond, Gavens, Dufour, & Doignon-Camus, 2012; Maurer et al., 2007).

A hipótese do mapeamento fonológico

Para explicar a lateralização à esquerda do N170 para palavras escritas, Maurer e McCandliss (2007) propuseram a “Hipótese do Mapeamento Fonológico”: as diferenças topográficas do N170 encontradas entre primeira infância e idade adulta derivam de diferenças no automatismo das correspondências grafema-fonema. Segundo esta hipótese, os processos lateralizados à direita recrutados numa fase inicial da aprendizagem da leitura tornar-se-ão progressivamente mais lateralizados à esquerda, à medida que as capacidades de leitura progredem e a ortografia se associa à fonologia. Esta transição ocorre sobre a influência de processos de nível superior, pré-existentes e lateralizados à

esquerda, relacionados com o processamento de material auditivo, nomeadamente do processamento fonológico. A descodificação grafema-fonema de *inputs* ortográficos visuais, exercitada consistente e repetidamente ao longo da aprendizagem da leitura, conduz assim à lateralização à esquerda do efeito N170 para palavras escritas, devido ao predominante envolvimento do hemisfério esquerdo no processamento fonológico.

Especificidade do processamento ortográfico associada à resposta N170: *Coarse tuning* e *fine tuning to print*

No presente, existe ainda controvérsia relativamente às características específicas das palavras que desencadeiam a resposta N170. Nomeadamente, não é claro se o N170 reflete apenas uma perícia perceptiva para o reconhecimento das letras, ou se é também sensível à estrutura ortográfica interna (sublexical) da palavra ou até mesmo às suas características lexicais.

Neste âmbito, considera-se que o processamento de informação ortográfica inclui, por um lado, um nível mais básico de especialização para letras (*coarse tuning*), e uma especialização mais fina refletida ao nível das unidades ortográficas sublexicais e também da forma ortográfica da palavra no seu todo (*fine tuning*). O processamento ortográfico no nível sublexical está intimamente ligado à capacidade de processar os atributos gerais do sistema de escrita, tal como as dependências sequenciais e a probabilidade das letras ou conjuntos de letras recorrerem em determinada posição na palavra. Por outro lado, a codificação da informação ortográfica ao nível da palavra relaciona-se com a nossa capacidade de formar representações holísticas da palavra escrita com base na sequência única de letras que a compõem (Hagiliassis, Pratt, & Johnston, 2006).

Uma perspectiva teórica defende que o N170 reflete uma a perícia perceptiva para o reconhecimento de estímulos constituídos por letras, que se relaciona, primariamente, com as computações pré-lexicais visuais e abstratas da palavra escrita. Um conjunto de estudos demonstrou que palavras, pseudopalavras pronunciáveis e sequências de consoantes despoletam respostas eletrofisiológicas no N170 similares, e que diferem das respostas obtidas por sequências de símbolos (Araújo et al., 2012; Bentin et al., 1999; Eberhard-Moscicka et al., 2014; Hasko et al., 2013; Kast et al., 2010; Maurer, Brem et al., 2005). Por exemplo, resultados obtidos por Araújo e colegas (2012) revelam que os diferentes níveis de frequência das palavras não provocam efeitos de modulação na amplitude do N170. Estes resultados parecem apoiar a hipótese de que a resposta evocada pelo N170 resulta de etapas pré-lexicais do processamento ortográfico.

Alguns estudos encontram efeitos de lexicalidade significativos neste componente electrofisiológico, nomeadamente pseudopalavras provocaram maior activação neuronal do que as palavras (Hauk et al., 2006; Sereno, Rayner, & Posner, 1998). Também foram encontradas evidências de maiores amplitudes na resposta N170 a palavras de baixa frequência quando comparadas com palavras de alta frequência (Assadollahi & Pulvermüller, 2003; Hauk et al., 2006; Hauk & Pulvermüller, 2004; Sereno, Brewer, & O'Donnell, 2003; Sereno et al., 1998). A frequência da palavra e os efeitos de lexicalidade suportam a sensibilidade do N170 a informação lexical, sugerindo um acesso facilitado a informação lexical ortográfica para palavras familiares. Possivelmente, o estado de desenvolvimento aquando da aquisição da leitura influencia a extensão do efeito da frequência e lexicalidade de tal forma que, quando o processo de leitura ainda não está automatizado (em crianças), o N170 é um índice do processamento pré-lexical. Todavia, à medida que a perícia de leitura aumenta (em adultos), pode refletir igualmente uma sensibilidade à natureza lexical do estímulo ortográfico.

Alguns estudos sugerem ainda que o N170 é sensível a informação linguística de ordem superior, particularmente que a informação fonológica da palavra exerce um efeito *top-down* no processamento visual e ortográfico precoce (Braun, Hutzler, Ziegler, Dambacher, & Jacobs, 2009).

Resumindo, a ideia de *tuning for print* pressupõe que existe uma afinação específica dos circuitos neuronais para estímulos ortográficos que surge com a aquisição e desenvolvimento da competência da leitura. Esta especialização neuronal para a palavra escrita surge no início da aprendizagem formal da leitura, sob a forma de uma especialização mais grosseira para o processamento de letras – *coarse tuning* – e posteriormente assumindo a forma de uma especialização mais precisa para as propriedades ortográficas ou mesmo fonológicas da palavra – *fine tuning*.

O *coarse tuning* desenvolve-se mais cedo e expressa-se por uma diferenciação entre estímulos constituídos por letras e estímulos constituídos por pseudoletas (figuras). Ou seja, o *coarse tuning* não se preocupa com a informação ortográfica, mas simplesmente com a natureza ortográfica dos estímulos (que sejam constituídos por letras do alfabeto em que o indivíduo aprendeu a ler)

Já o *fine tuning* desenvolve-se no início da escolaridade e discerne não só a forma física da palavra, mas o seu conteúdo ortográfico. Ou seja, quando esta afinação já está presente no indivíduo, este consegue distinguir entre palavras e pseudopalavras (por exemplo), e a sua resposta electrofisiológica será com certeza diferente.

Crianças com 10 anos não mostram diferenças no N170 numa situação de palavras *vs strings* de consoantes (*fine tuning*). O que apoia a hipótese do *coarse tuning* estar presente desde muito cedo, e o *fine tuning* ocorrer bastante mais tarde (no início da escolaridade) (Posner et al., 1999).

Em suma, sabe-se que o componente N170 é sensível a informação linguística de ordem superior, mas não se sabe ao certo a que nível, pois não existe um consenso na literatura quanto à sua sensibilidade no que toca à lexicalidade nem ao efeito da fonologia.

Assim, o principal objetivo do presente estudo é perceber até que ponto o N170 é sensível à natureza lexical do estímulo ortográfico (palavras *vs.* pseudopalavras) e/ou à presença de irregularidades de leitura (correspondências grafema-fonema inconsistentes: itens ortográficos consistentes *vs.* itens ortográficos inconsistentes para a leitura). Adicionalmente, pretende-se averiguar se essa sensibilidade no N170 (*fine tuning*) depende do nível de competência de leitura do sujeito.

Assim, e dado o estudo recorrer a uma população com formação superior, esperamos detectar indícios de *fine tuning* (efeito de lexicalidade e de consistência expressos no N170). Prevemos ainda que esses efeitos de *fine tuning* se associem ao nível de competência de leitura dos participantes.

Capítulo II - Método

Participantes

Fizeram parte deste estudo 42 indivíduos adultos (12 do sexo masculino e 30 do sexo feminino, idade média de $[\pm SD] = 21.7 [\pm 3.0]$ anos). Os participantes tinham o Português como língua-mãe e eram leitores fluentes de escolaridade superior. Todos apresentavam visão normal ou corrigida. Nenhum dos participantes relatou qualquer tipo de disfunções neurológicas ou psiquiátricas nem apresentou histórico de dislexia, aspeto importante pois a especialização do potencial N170 é inferior nos sujeitos com dislexia (Maurer et al, 2007).

Tabela 1 - Caracterização da amostra

	Resultados diretos			Resultados padronizados		
	M	DP	Mín – Máx	M	DP	Mín – Máx
<i>Idade (anos)</i>	21,7	3,0	17 – 32	--	--	--
<i>Escolaridade (anos)</i>	15,6	1,8	13 – 20	--	--	--
<i>WAIS – Semelhanças</i>	21,4	4,1	12 – 29	11,0	2,2	7 – 16
<i>WAIS – Cubos</i>	46,4	10,2	22 – 67	11,3	2,7	5 – 18
<i>QHL (máx. 100)</i>	34,7	9,4	7 – 50,5	^a	^a	^a
<i>TIL (máx. 36)</i>	15,8	2,6	11 – 21	10,3	2,5	6 – 15
<i>3DM Palavras (velocidade)</i>	1,96	0,29	1,32 – 2,50	9,2	3,20	2 – 15
<i>3DM Palavras (exatidão)</i>	99,1	1,0	96,2 – 100	9,6	2,2	3 – 12
<i>3DM Pseudopalavras (velocidade)</i>	1,49	0,22	1,10 – 1,97	9,5	2,6	5 – 15
<i>3DM Pseudopalavras (exatidão)</i>	98,0	2,0	92,7 – 100	10,4	1,7	6 – 12

^aNão estão disponíveis dados normativos para calcular os resultados padronizados

Resultados padronizados expressos numa escala com média 10 e desvio-padrão 3

Resultados diretos de velocidade de leitura expressos em palavras corretamente lidas por segundo; exatidão de leitura expressa em percentagem de itens lidos que foram lidos corretamente

Medidas

Para caracterizar as competências de leitura dos participantes, recorreu-se a três instrumentos.

Utilizou-se a adaptação portuguesa do *Questionário História de Leitura* (QHL; Lefly & Pennington, 2000; versão portuguesa de Alves & Castro, 2004), uma ferramenta eficaz para o diagnóstico de problemas de leitura e que consiste num questionário sobre os hábitos de leitura do sujeito durante todo o seu percurso de vida (Alves & Castro, 2004).

Recorreu-se também ao Teste de Idade de Leitura (TIL; Fernandes, Araújo, Sucena, Reis, & Castro, 2016). Esta prova avalia dois processos cognitivos associados à leitura: a descodificação e a compreensão. O participante dispõe de 60 segundos para ler em silêncio o maior número possível de frases isoladas incompletas e completar cada uma delas escolhendo a palavra correta entre cinco alternativas.

Utilizou-se ainda a prova de leitura da versão portuguesa da Bateria 3DM (*Differential Diagnosis Dyslexia Battery*; Blomert & Vaessen, 2009; versão portuguesa de Reis et al., em preparação). Esta prova é composta por três listas de estímulos: palavras de alta frequência, palavras de baixa frequência e pseudopalavras. Cada lista conta com 75 estímulos, organizados em cinco folhas de 15 estímulos cada, dispostos em três colunas de cinco palavras, aumentando a dificuldade de leitura dentro de cada lista. A prova foi apresentada com recurso ao *software* Presentation (Neurobehavioral Systems), e as instruções solicitavam ao participante que lesse em voz alta o mais rápida e corretamente possível os estímulos apresentados. Os participantes dispunham de 30 segundos para ler cada lista. Posteriormente foram contabilizadas a quantidade de estímulos lidos e a quantidade de estímulos corretamente lidos, obtendo-se uma medida

de fluência e de exatidão da leitura para palavras reais (integrando a informação de palavras de alta e baixa frequência) e para pseudopalavras. Os resultados diretos desta prova de leitura foram padronizados recorrendo a dados de uma amostra normativa de estudantes do Ensino Superior ainda não publicados.

Finalmente, foram utilizadas duas provas da Escala de Weschler de Inteligência para Adultos (WAIS-III) (Weschler, D., 1997, 2008): a prova dos Cubos e a prova das Semelhanças. Recorreu-se a estas provas para caracterizar os participantes em termos do seu funcionamento intelectual geral, de forma a garantir que o seu desempenho se situa dentro dos resultados esperados para o seu grupo etário.

Para avaliar a resposta N170 a estímulos ortográficos, desenvolveu-se especificamente para este estudo uma prova experimental de deteção de repetição imediata de palavras (*one-back task*). Nesta prova, o participante era exposto a uma sequência de itens ortográficos (palavras e pseudopalavras), apresentados um a um, sendo a sua tarefa detetar sempre que ocorresse repetição imediata de um estímulo. Embora a tarefa não exija que os estímulos sejam lidos, a leitura facilita verificar se a palavra apresentada é ou não igual à palavra imediatamente anterior; por essa razão, considera-se ser esta uma tarefa de leitura implícita e é frequentemente utilizada para induzir a resposta N170 (Maurer et al., 2005; Tarkiainen et al., 1999). A tarefa de leitura implícita era constituída por um total 200 estímulos: 50 palavras de alta frequência em que a conversão grafema-fonema era consistente (por exemplo, “tarde”, “litro”, “negativo”), 50 palavras de alta frequência em que a conversão grafema-fonema era inconsistente para alguns grafemas (por exemplo, “anexo”, “rede”, “tranquilo”), 50 pseudopalavras consistentes na leitura (por exemplo, “reipe”, “flubo”, “casprense”) e 50 pseudopalavras com casos de inconsistência na leitura (por exemplo, “urexo”, “quof”, “tamarega”). A apresentação

dos estímulos organizava-se em dois blocos (palavras e pseudopalavras), estando os estímulos aleatorizados dentro de cada bloco. Ao longo de cada bloco surgiam 21 estímulos adicionais da mesma natureza psicolinguística que eram imediatamente repetidos; estes estímulos eram o alvo da tarefa do participante (que tinha de detetá-los) mas não foram considerados na análise dos potenciais evocados, sendo apenas utilizados para avaliar se o participante estava a prestar atenção à tarefa (dado a sua natureza implícita). Os estímulos eram apresentados individualmente, um a seguir ao outro, antecedidos por uma cruz (500 ms) e ficando expostos durante 700 ms, a que se seguia um intervalo de 500 ms em branco. Sempre que o estímulo apresentado fosse igual ao estímulo a anterior, o participante deveria pressionar a barra de espaços.

Procedimento

Os participantes foram avaliados individualmente, primeiro através das provas de avaliação cognitiva e de leitura e depois na prova de leitura implícita, para registo da atividade eletrofisiológica cerebral. Antes de iniciar a recolha de dados, todos os participantes assinaram um consentimento informado, de acordo com a Declaração de Helsínquia.

Para o registo eletroencefalográfico contínuo (EEG) utilizou-se o sistema de eléctrodos BioSemi ActiveTwo de 64 canais Ag/AgCl, colocados no escalpe de cada participante, por via de uma touca elástica e gel condutor. Os eléctrodos foram colocados nas áreas padrão dos hemisférios esquerdo e direito, sobre as áreas frontal, parietal, occipital e temporal, e foram posicionados de acordo com o protocolo internacional do sistema 10-20. Dois eléctrodos adicionais (CMS/DRL) foram usados como referências *online* (Schutter, Leitner, Kenemans, & van Honk, 2006). Foram ainda usados mais três eléctrodos, dois deles sobre o osso mastóide esquerdo e direito, e o último ligeiramente

abaixo do olho direito, de maneira a monitorizar movimentos oculares e piscadelas. Os sinais bioeléctricos foram amplificados com um amplificador BioSemi ActiveTwo (filtro *bandpass* DC-67Hz) e foram continuamente amostrados a 24bit e a um rácio de 512Hz durante toda a experiência.

Análise dos dados ERP

Os dados de EEG foram analisados com recurso à *toolbox open-source* FieldTrip (Oostenveld, Fries, & Jensen, 2009; documentação e algoritmos disponíveis em ru.nl/fcdonders/fieldtrip). Consideraram-se os dados registados numa janela temporal de 900ms (a partir de 100 ms antes do estímulo até 500 ms após o estímulo). Os *trials* que continham artefactos oculares e/ou musculares, bem como ruído eléctrico, foram excluídos da análise. Apenas os *trials* que continham respostas corretas foram analisados. Foram excluídos dois participantes da análise devido a uma alta percentagem de artefactos nos *trials* que lhes correspondiam (mais que 30% dos *trials* por condição). Os *trials* corrigidos foram filtrados *offline* (*lowpass* a 30Hz) e referenciados em relação à referência média (os eléctrodos oculares foram excluídos de maneira a calcular a referência comum).

Os dados de ERP foram analisados computando as amplitudes médias da onda durante janelas temporais específicas, relativas à *baseline* de 100 ms pré-estímulo. Foi calculada a média dos ERPs individuais dentro de cada condição experimental.

De maneira a restringir o número de comparações estatísticas, os eléctrodos referentes às regiões de interesse foram seleccionados *a priori*, de acordo com as considerações teóricas e inspeção visual.

Para analisar o efeito da lexicalidade, compararam-se os ERPs despoletados por pseudopalavras com aqueles despoletados por palavras, durante a janela temporal de

130ms a 180ms (componente N170); para avaliar o efeito da consistência ortográfica sublexical, foram comparados os ERPs despoletados por palavras consistentes com os ERPs despoletados por palavras inconsistentes. Em ambas comparações, as respostas dentro da janela temporal referente ao componente N170 foram analisadas em regiões parieto-occipitais (P7/P8, P9/P10, PO7/PO8, O1/O2), pois a amplitude do componente N170 é máxima nestas regiões (Maurer et al., 2005, 2007).

Capítulo V – Resultados

Resultados Comportamentais

A tarefa de leitura implícita solicitava a detecção de repetições de palavras (no total, 42 repetições). A percentagem média de deteções corretas foi 93,7% (desvio-padrão = 7,47%; mínimo – máximo = 79% – 100%), o que sugere que os participantes estavam atentos à tarefa e desempenharam-na com níveis satisfatórios de exatidão.

Resultados Eletrofisiológicos

A amplitude da componente N170 na janela temporal de 130 ms a 180 ms foi analisada recorrendo a uma ANOVA com medidas repetidas em que se considerou como fatores *within subjects* o hemisfério (direito vs. esquerdo), a lexicalidade do estímulo (palavras reais vs. pseudopalavras) e a inconsistência da leitura do estímulo (palavras consistentes vs. palavras inconsistentes).

Os resultados mostram um efeito forte do hemisfério, uma vez que a amplitude média do N170 foi maior (mais negativa) no hemisfério esquerdo do que no direito [$F(1, 41) = 13,1, p = 0,001; \eta^2\text{-parcial} = 0,24$]. O efeito de consistência também foi significativo mas moderado [$F(1, 41) = 7,3, p = 0,010; \eta^2\text{-parcial} = 0,15$], mostrando o N170 amplitudes médias mais negativas em resposta aos estímulos em que há consistência grafema-fonema. O efeito da lexicalidade foi marginalmente significativo [$F(1, 41) = 3,9, p = 0,055; \eta^2\text{-parcial} = 0,09$], em resultado da amplitude do N170 ser menor (isto é, menos negativa) para pseudopalavras do que para palavras.

A interação entre hemisfério e consistência foi a única estatisticamente significativa [$F(1, 41) = 5.6, p = .023; \eta^2\text{-parcial} = 0,119$], devendo-se ao facto de, em

áreas posteriores esquerdas, os ERPs despoletados por palavras inconsistentes serem mais negativos do que os ERPs despoletados por palavras consistentes ($t = 3,22$, $gl = 41$, $p = 0,003$; d de Cohen = 0,23), enquanto esse efeito da consistência ortográfica não se observa nos ERPs registrados nas áreas posteriores direitas ($t = 1,04$, $gl = 41$, $p = 0,303$; d de Cohen = 0,06; ver Figura 1).

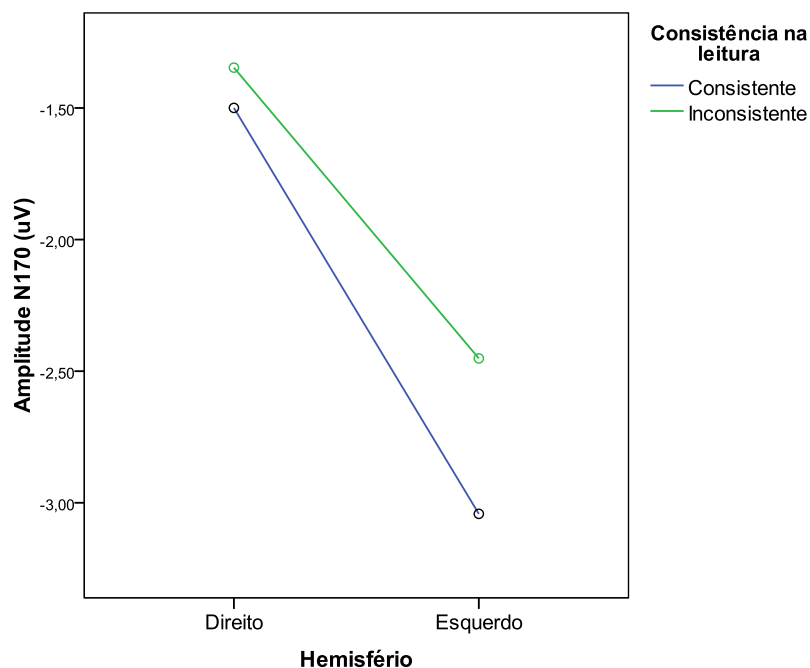


Figura 1 - Amplitude da componente N170 em função da consistência ortográfica do estímulo e da lateralização da resposta

As interações entre hemisfério e lexicalidade [$F(1, 41) = 0,5$, $p = 0,492$; η^2 -parcial = 0,01] e entre lexicalidade e consistência [$F(1, 41) = 0,1$, $p = 0,800$; η^2 -parcial = 0,00] não afetam de forma fiável a amplitude do componente N170. A Figura 2 apresenta o efeito conjunto dos fatores hemisfério e lexicalidade, de forma permitir observar que o efeito de lexicalidade é semelhante nos dois hemisférios.

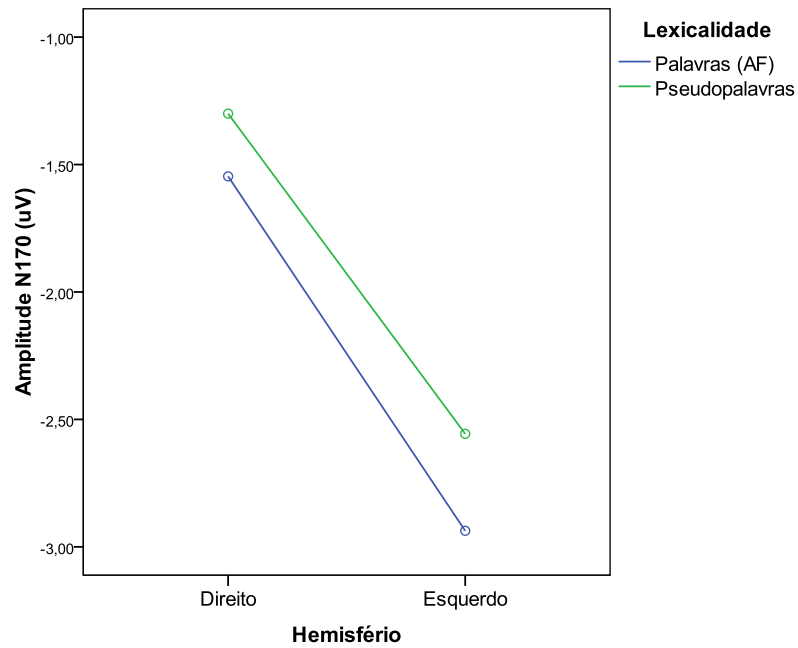


Figura 2 - Amplitude da componente N170 em função da natureza lexical do estímulo e da lateralização da resposta

Também a interação de terceira ordem não foi significativa [$F(1, 41) = 2,6, p = 0,118; \eta^2\text{-parcial} = 0,06$], sugerindo que o efeito da consistência ortográfica se manifesta com intensidade semelhante em palavras e em pseudopalavras. No entanto, optou-se por apresentar graficamente esta interação, de forma a permitir observar as intensidades da componente N170 para os dois tipos de estímulo (ver Figura 3).

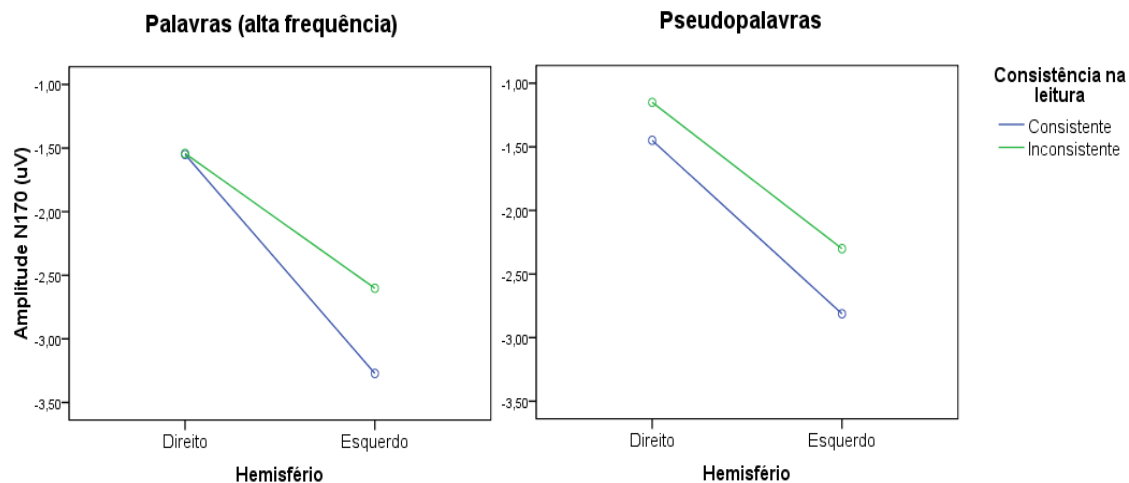


Figura 3 - Amplitude da componente N170 em função da natureza lexical do estímulo, da sua consistência ortográfica e da lateralização da resposta

A análise da Figura 2 sugere que o efeito da consistência ortográfica acima descrito é mais evidente para palavras do que para pseudopalavras; no entanto, a análise estatística reforça a ideia de que os efeitos não podem ser considerados muito diferentes. Nas palavras, não se observam diferenças entre itens consistentes e inconsistentes quando a amplitude do N170 é registada na área parieto-occipitais direita ($t = 0,03$, $gl = 41$, $p = 0,974$; d de Cohen = 0,00); no entanto, se o registo é efetuado no hemisfério esquerdo, as palavras consistentes evocam potenciais N170 mais negativos do que as inconsistentes ($t = 2,83$, $gl = 41$, $p = 0,007$; d de Cohen = 0,24). No que se refere às pseudopalavras, a diferença entre itens consistentes e inconsistentes no hemisfério direito também não é significativa ($t = 1,48$, $gl = 41$, $p = 0,147$; d de Cohen = 0,11), mas já se manifesta de forma mais clara no hemisfério esquerdo ($t = 2,33$, $gl = 41$, $p = 0,025$; d de Cohen = 0,20).

Com o objetivo de analisar se as diferenças na magnitude dos efeitos de lateralização do N170, de lexicalidade e da consistência ortográfica observados nos participantes se associavam aos seus diferentes níveis de perícia de leitura, procedeu-se à

correlação entre a magnitude dos efeitos referidos e os desempenhos nas provas de leitura (Tabela 2).

Tabela 2 – Medidas de leitura e efeitos registados no N170

	<i>Efeito de lateralização</i>	<i>Efeito de lexicalidade</i>	<i>Efeito de consistência</i>
<i>QHL</i>	$r = 0,02$ ($p = 0,902$)	$r = 0,00$ ($p = 0,996$)	$r = -0,15$ ($p = 0,358$)
<i>TIL</i>	$r = 0,20$ ($p = 0,216$)	$r = 0,12$ ($p = 0,437$)	$r = 0,26$ ($p = 0,097$)
<i>3DM palavras (veloc.)</i>	$r = 0,12$ ($p = 0,451$)	$r = 0,03$ ($p = 0,845$)	$r = 0,23$ ($p = 0,153$)
<i>3DM palavras (exat.)</i>	$r = 0,13$ ($p = 0,399$)	$r = 0,27$ ($p = 0,081$)	$r = -0,03$ ($p = 0,841$)
<i>3DM pseudopalavras (veloc.)</i>	$r = 0,06$ ($p = 0,703$)	$r = -0,01$ ($p = 0,942$)	$r = 0,13$ ($p = 0,426$)
<i>3DM pseudopalavras (exat.)</i>	$r = -0,01$ ($p = 0,929$)	$r = 0,02$ ($p = 0,899$)	$r = -0,03$ ($p = 0,824$)

De uma forma geral, as correlações são todas de reduzida magnitude ($r < 0,3$) e nunca atingem significância estatística, sugerindo que os níveis de desempenho revelados pelas diferentes medidas da competência de leitura não parecem associar-se à magnitude dos efeitos registados no N170.

Capítulo VI - Discussão

O principal objetivo do presente estudo foi perceber até que ponto o potencial N170 seria sensível à natureza lexical do estímulo ortográfico e a informação linguística pós-lexical (consistência grafema-fonema). Para isso, manipularam-se os estímulos a serem lidos, tanto em termo da sua consistência ortográfica (estímulos consistentes em termos da conversão grafema-fonema *vs.* estímulos onde existiam inconsistências ao nível da conversão grafema-fonema) como da sua lexicalidade (palavras reais *vs.* pseudopalavras). Procurou-se ainda verificar essa sensibilidade apresentada pelo potencial N170 dependeria do nível de competência de leitura do indivíduo. Para tal, foi registada a atividade cerebral elétrica dos participantes por via de eletroencefalografia enquanto estes eram confrontados com estímulos correspondentes às condições em estudo, sendo posteriormente analisados os ERPs daí provenientes numa janela temporal definida entre os 130 e os 180ms após o *onset* do estímulo. Considerou-se relevante considerar nesta análise apenas a atividade elétrica que tomou lugar nas regiões parieto-occipitais (P7/P8, P9/P10, PO7/PO8, O1/O2), pois é nessas regiões onde o potencial N170 atinge a sua amplitude máxima (Maurer et al., 2005, 2007).

O potencial N170 é um dos marcadores do reconhecimento visual de palavras mais precoce (isto é, um dos primeiros a ser identificado pós-estímulo), e é sabido que diferencia estímulos ortográficos (palavras e pseudopalavras) de estímulos visuais não ortográficos, tais como símbolos ou pseudoletas. Como tal, a evidência científica disponível até à data apoia a hipótese de que aproximadamente aos 170ms, o sistema visual de indivíduos letrados responde automática e especificamente à combinação de letras, manifestando-se os efeitos lexicais e fonológicos mais tardiamente. No entanto, alguns estudos mostram que informação linguística de ordem superior influencia o

reconhecimento visual da palavra aos 100ms desde do *onset* do estímulo (logo, antes dos 170ms). Tem também sido descrito na literatura que os componentes eletroencefalográficos do período 100-200 ms são sensíveis à frequência lexical. Desta forma, o componente N170 parece ser suscetível a uma modulação proveniente de informação linguística não puramente visual (Carreiras, 2014).

Os resultados apurados neste estudo vão nesse sentido, mostrando um efeito de lexicalidade marginalmente significativo, resultante do potencial N170 apresentar uma amplitude média menor (menos negativa) para pseudopalavras do que para palavras. Parece assim que o potencial N170 é sensível à lexicalidade, distinguindo estímulos ortográficos com base no seu estatuto lexical. Este resultado tem sido observado em diversos estudos que têm registado uma atividade eletrofisiológica diferente para palavras e pseudopalavras em torno dos 170ms, gerando as pseudopalavras maior atividade cerebral do que as palavras (Hauk et al., 2006; Sereno, Rayner, & Posner, 1998). Estes resultados têm sido interpretados como refletindo um acesso facilitado de palavras familiares ao léxico numa janela temporal entre os 100 e os 200ms após o aparecimento do estímulo ortográfico. Curiosamente, no nosso caso foram as palavras (de alta frequência) que geraram atividade cerebral mais intensa.

Observou-se também um efeito significativo da consistência ortográfica do estímulo, sendo esse efeito diferente consoante o hemisfério em que o N170 foi medido. Aqui, os ERPs despoletados no hemisfério esquerdo por estímulos consistentes foram mais negativos (maior amplitude) do que os ERPs despoletados por estímulos inconsistentes. Este efeito de consistência não foi encontrado no hemisfério direito. Este resultado parece favorecer os modelos interativos da leitura, pois obriga a que as regras de conversão grafema-fonema estejam já em efeito na janela temporal onde aparece o N170. No entanto, este efeito foi mais marcado nas palavras. No que diz respeito a este

efeito de consistência dos estímulos para a leitura, um estudo de Yum e colegas (2014) feito com caracteres chineses, diz-nos que quando se apresentava aos participantes caracteres regulares, registava-se uma amplitude superior do N170 comparativamente à obtida com a apresentação de caracteres irregulares.

Finalmente, de referir que, na linha do pressuposto inicial, observou-se mais negatividade no hemisfério esquerdo (Carreiras, 2014). O N170 dos leitores experientes caracteriza-se precisamente por uma lateralização à esquerda.

Em suma, o estudo presente nesta dissertação veio ajudar a sistematizar o papel do componente N170 no reconhecimento de palavras, e a sua acção no desenvolvimento da leitura. Tentou-se explicar a que o componente está a responder ao certo, a nível de lexicalidade e consistência dos estímulos ortográficos, contribuindo assim pra uma melhor compreensão dos processos eletrofisiológicos na leitura.

Referências

- Allison, T., McCarthy, G., Nobre, A., Puce, A., & Belger, A. (1994). Human extrastriate visual cortex and the perception of faces, words, numbers, and colors. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *4*(5), 544–554.
- Alves, R., & Castro, S. L. (2005). Despistagem da dislexia em adultos através do Questionário de História de Leitura. *Iberpsicología: Revista Electrónica de la Federación Española de Asociaciones de Psicología*, *10*(8).
- Araújo, S., Bramão, I., Faísca, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2012). Electrophysiological correlates of impaired reading in dyslexic pre-adolescent children. *Brain and Cognition*, *79*(2), 79–88.
<http://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.02.010>
- Andrews, S. (2006). All about words: A lexicalist perspective on reading. In Andrews, S. (Ed.). *From Ink marks to Ideas. Current issues in lexical processing* (pp. 314–348). Hove, Psychology Press.
- Assadollahi, R., & Pulvermüller, F. (2003). Early influences of word length and frequency: a group study using MEG. *Neuroreport*, *14*(8), 1183–1187.
<http://doi.org/10.1097/01.wnr.0000075305.76650.60>
- Backman, J., Bruck, M., Hebert, M., & Seidenberg, M. S. (1984). Acquisition and use of spelling-sound correspondences in reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, *38*(1), 114–133. [http://doi.org/10.1016/0022-0965\(84\)90022-5](http://doi.org/10.1016/0022-0965(84)90022-5)
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M. H., Echallier, J. F., & Pernier, J. (1999). ERP Manifestations of Processing Printed Words at Different Psycholinguistic Levels: Time Course and Scalp Distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(3), 235–260. <http://doi.org/10.1162/089892999563373>
- Blomert, L., & Vaessen, A. (2009). Differentiaal Diagnostiek van Dyslexie: Cognitieve

- analyse van lezen en spellen [Dyslexia Differential Diagnosis: Cognitive analysis of reading and spelling]. *Amsterdam, Netherlands: Boom Test.*
- Brauer, J., Anwander, A., Perani, D., & Friederici, A. D. (2013). Dorsal and ventral pathways in language development. *Brain and Language, 127*(2), 289–295.
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.03.001>
- Braun, M., Hutzler, F., Ziegler, J. C., Dambacher, M., & Jacobs, A. M. (2009). Pseudohomophone effects provide evidence of early lexico-phonological processing in visual word recognition. *Human Brain Mapping, 30*(7), 1977–1989. <http://doi.org/10.1002/hbm.20643>
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Guttorm, T. K., Martin, E., Lyytinen, H., ... Richardson, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107*(17), 7939–7944.
<http://doi.org/10.1073/pnas.0904402107>
- Brem, S., Halder, P., Bucher, K., Summers, P., Martin, E., & Brandeis, D. (2009). Tuning of the visual word processing system: distinct developmental ERP and fMRI effects. *Human Brain Mapping, 30*(6), 1833–1844.
<http://doi.org/10.1002/hbm.20751>
- Caramazza, A., & Hillis, A. E. (1990). Spatial representation of words in the brain implied by studies of a unilateral neglect patient. *Nature, 346*(6281), 267–269.
<https://doi.org/10.1038/346267a0>
- Carreiras, M., Armstrong, B. C., Perea, M., & Frost, R. (2014). The what, when, where, and how of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences, 18*(2), 90–98.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.11.005>

- Cohen, L., & Dehaene, S. (2004). Specialization within the ventral stream: the case for the visual word form area. *NeuroImage*, 22(1), 466–476.
<http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.049>
- Cohen, L., Lehericy, S., Chochon, F., Lemer, C., Rivaud, S., & Dehaene, S. (2002). Language-specific tuning of visual cortex? Functional properties of the Visual Word Form Area. *Brain: A Journal of Neurology*, 125(Pt 5), 1054–1069.
- Davis, C. J. (2012). Developing a universal model of reading necessitates cracking the orthographic code. *The Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 283–284.
<https://doi.org/10.1017/S0140525X12000039>
- Dehaene, S., Pegado, F., Braga, L. W., Ventura, P., Filho, G. N., Jobert, A., Cohen, L. (2010). How Learning to Read Changes the Cortical Networks for Vision and Language. *Science*, 330(6009), 1359–1364.
<http://doi.org/10.1126/science.1194140>
- Eberhard-Moscicka, A. K., Jost, L. B., Raith, M., & Maurer, U. (2015). Neurocognitive mechanisms of learning to read: print tuning in beginning readers related to word-reading fluency and semantics but not phonology. *Developmental Science*, 18(1), 106–118. <http://doi.org/10.1111/desc.12189>
- Ehri, L. C. (1995). Phases of development in learning to read words by sight. *Journal of Research in Reading*, 18(2), 116–125. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9817.1995.tb00077.x>
- Frith, U. (1986). A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 36(1), 67–81. <http://doi.org/10.1007/BF02648022>
- Frost, R. (2012). A universal approach to modeling visual word recognition and

- reading: Not only possible, but also inevitable. *Behavioral and Brain Sciences*, 35(5), 310–329. <https://doi.org/10.1017/S0140525X12000635>
- Grainger, J., & Ziegler, J. C. (2011). A Dual-Route Approach to Orthographic Processing. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00054>
- Hagiliassis, N., Pratt, C., & Johnston, M. (sem data). Orthographic and Phonological Processes in Reading. *Reading and Writing*, 19(3), 235–263. <http://doi.org/10.1007/s11145-005-4123-9>
- Hasko, S., Groth, K., Bruder, J., Bartling, J., & Schulte-Körne, G. (2013). The time course of reading processes in children with and without dyslexia: an ERP study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 570. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00570>
- Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301–307.
- Hauk, O., Patterson, K., Woollams, A., Watling, L., Pulvermüller, F., & Rogers, T. T. (2006). [Q:] When would you prefer a SOSSAGE to a SAUSAGE? [A:] At about 100 msec. ERP correlates of orthographic typicality and lexicality in written word recognition. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), 818–832. <http://doi.org/10.1162/jocn.2006.18.5.818>
- Helenius, P., Salmelin, R., Service, E., & Connolly, J. F. (1998). Distinct time courses of word and context comprehension in the left temporal cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, 121 (Pt 6), 1133–1142.
- Huckauf, A., & Nazir, T. A. (2007). How odgernwi becomes crowding: stimulus-specific learning reduces crowding. *Journal of Vision*, 7(2), 18.1-12. <http://doi.org/10.1167/7.2.18>

- Johnston, R. S., Thompson, G. B., Fletcher-Flinn, C. M., & Holligan, C. (1995). The functions of phonology in the acquisition of reading: lexical and sentence processing. *Memory & Cognition*, 23(6), 749–766.
- Kast, M., Elmer, S., Jancke, L., & Meyer, M. (2010). ERP differences of pre-lexical processing between dyslexic and non-dyslexic children. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 77(1), 59–69. <http://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.04.003>
- Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (2000). Reliability and validity of the adult reading history questionnaire. *Journal of Learning Disabilities*, 33(3), 286–296.
- Mahé, G., Bonnefond, A., Gavens, N., Dufour, A., & Doignon-Camus, N. (2012). Impaired visual expertise for print in French adults with dyslexia as shown by N170 tuning. *Neuropsychologia*, 50(14), 3200–3206. <http://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.013>
- Maurer, U., Blau, V. C., Yoncheva, Y. N., & McCandliss, B. D. (2010). Development of visual expertise for reading: rapid emergence of visual familiarity for an artificial script. *Developmental neuropsychology*, 35(4), 404–422. <http://doi.org/10.1080/87565641.2010.480916>
- Maurer, U., Brandeis, D., & McCandliss, B. D. (2005). Fast, visual specialization for reading in English revealed by the topography of the N170 ERP response. *Behavioral and Brain Functions: BBF*, 1, 13. <http://doi.org/10.1186/1744-9081-1-13>
- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., & Brandeis, D. (2005). Emerging neurophysiological specialization for letter strings. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(10), 1532–1552. <http://doi.org/10.1162/089892905774597218>
- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., Kranz, F., Benz, R., Steinhausen, H.-C., & Brandeis,

- D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain: A Journal of Neurology*, *130*(Pt 12), 3200–3210. <http://doi.org/10.1093/brain/awm193>
- Maurer, U., Brem, S., Kranz, F., Bucher, K., Benz, R., Halder, P., ... Brandeis, D. (2006). Coarse neural tuning for print peaks when children learn to read. *NeuroImage*, *33*(2), 749–758. <http://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.025>
- McCandliss, B. D., Cohen, L., & Dehaene, S. (2003). The visual word form area: expertise for reading in the fusiform gyrus. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(7), 293–299.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, *88*(5), 375–407. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.88.5.375>
- Nazir, T. (2004). Reading habits, perceptual learning, and recognition of printed words. *Brain and Language*, *88*(3), 294–311. [http://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00168-8](http://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00168-8)
- Nobre, A. C., Allison, T., & McCarthy, G. (1994). Word recognition in the human inferior temporal lobe. *Nature*, *372*(6503), 260–263. <http://doi.org/10.1038/372260a0>
- Norris, D., McQueen, J. M., & Cutler, A. (2000). Merging information in speech recognition: feedback is never necessary. *The Behavioral and Brain Sciences*, *23*(3), 299-325-370.
- Oostenveld, R, Fries, P, & Jensen, O. (2009). *Fieldtrip toolbox*. Obtido de <http://www.ru.nl/fcdonders/fieldtrip>.
- Price, C. J., & Mechelli, A. (2005). Reading and reading disturbance. *Current Opinion*

- in Neurobiology*, 15(2), 231–238. <http://doi.org/10.1016/j.conb.2005.03.003>
- Rauschecker, A. M., Bowen, R. F., Parvizi, J., & Wandell, B. A. (2012). Position sensitivity in the visual word form area. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(24), 9244–9245. <https://doi.org/10.1073/pnas.1121304109>
- Reis, A., Castro, S. L., Inácio, F., Pacheco, A., Araújo, S., Santos, M. (em preparação).
Versão Portuguesa da Bateria 3DM para avaliação da leitura e da escrita.
- Schlaggar, B. L., & McCandliss, B. D. (2007). Development of neural systems for reading. *Annual Review of Neuroscience*, 30, 475–503.
<http://doi.org/10.1146/annurev.neuro.28.061604.135645>
- Schutter, D. J. L. G., Leitner, C., Kenemans, J. L., & van Honk, J. (2006).
Electrophysiological correlates of cortico-subcortical interaction: a cross-frequency spectral EEG analysis. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 117(2), 381–387.
<http://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.09.021>
- Sereno, S. C., Brewer, C. C., & O'Donnell, P. J. (2003). Context Effects in Word Recognition Evidence for Early Interactive Processing. *Psychological Science*, 14(4), 328–333. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.14471>
- Sereno, S. C., Rayner, K., & Posner, M. I. (1998). Establishing a time-line of word recognition: evidence from eye movements and event-related potentials. *Neuroreport*, 9(10), 2195–2200.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2008). Paying attention to reading: the neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20(4), 1329–1349. <http://doi.org/10.1017/S0954579408000631>
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Béchennec, D., & Serniclaes, W. (2003).
Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in

- silent reading, and in spelling: a four-year longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 84(3), 194–217.
- Tarkiainen, A., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (2002). Dynamics of visual feature analysis and object-level processing in face versus letter-string perception. *Brain: A Journal of Neurology*, 125(Pt 5), 1125–1136.
- Tarkiainen, A., Helenius, P., Hansen, P. C., Cornelissen, P. L., & Salmelin, R. (1999). Dynamics of letter string perception in the human occipitotemporal cortex. *Brain: A Journal of Neurology*, 122 (Pt 11), 2119–2132.
- Weschler, D. (1997). *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale, Third Edition*. Nova Iorque: The Psychological.
- Weschler, D. (2008). *WAIS-III: Escala de Inteligência de Wechsler para Adultos - Terceira Edição*. Lisboa: CEGOC - TEA.
- Wong, A. C. N., Gauthier, I., Woroch, B., DeBuse, C., & Curran, T. (2005). An early electrophysiological response associated with expertise in letter perception. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 5(3), 306–318.
- Yoncheva, Y. N., Blau, V. C., Maurer, U., & McCandliss, B. D. (2010). Attentional Focus During Learning Impacts N170 ERP Responses to an Artificial Script. *Developmental neuropsychology*, 35(4), 423–445.
<http://doi.org/10.1080/87565641.2010.480918>
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory. *Psychological Bulletin*, 131(1), 3–29. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.3>