

**Emanuela Cristina Ramos Gonçalves**

**PERCEPÇÃO VISUAL DURANTE A LEITURA  
O ESTUDO DAS FUNÇÕES VISUAIS E MOVIMENTAÇÃO OCULAR  
EM DISLÉXICOS E NORMO-LEITORES**

Tese apresentada à Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Medicina, para a obtenção do Título acadêmico de doutor em Ciências.

São Paulo

2019

**Emanuela Cristina Ramos Gonçalves**

**PERCEPÇÃO VISUAL DURANTE A LEITURA  
O ESTUDO DAS FUNÇÕES VISUAIS E MOVIMENTAÇÃO OCULAR  
EM DISLÉXICOS E NORMO-LEITORES**

Tese apresentada à Universidade Federal de São Paulo - Escola Paulista de Medicina, para a obtenção do Título acadêmico de doutor em Ciências.

**Orientador:**

Prof. Dr. Paulo Schor

**Co-orientadora:**

Profa. Dra. Martina Navarro

São Paulo

2019

Ramos Gonçalves, Emanuela Cristina

**Percepção visual durante a leitura:** O estudo das funções visuais e movimentação ocular em disléxicos e normo-leitores/ Emanuela Cristina Ramos Gonçalves. -- São Paulo, 2019.

xxv, 139f.

**Título em inglês:** Visual perception during reading: a study of visual functions and eyes movements for dyslexics and skilled readers.

1.Leitura. 2.Movimentação ocular. 3.Funções visuais de leitura 4. Dislexia

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA**  
**DEPARTAMENTO DE OFTALMOLOGIA E CIÊNCIAS VISUAIS**

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Mauro Silveira de Queiroz Campos

Vice- Chefe do Departamento: Profa. Dra. Ana Luisa Höfling-Lima

Coordenador do Programa de Pós-graduação em Oftalmologia e Ciências Visuais: Prof.  
Dr. Augusto Paranhos Junior

**Emanuela Cristina Ramos Gonçalves**

**PERCEÇÃO VISUAL DURANTE A LEITURA  
O ESTUDO DAS FUNÇÕES VISUAIS E MOVIMENTAÇÃO OCULAR  
EM DISLÉXICOS E NORMO-LEITORES**

Apresentada em:

Presidente da banca:

---

Prof. Dr.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr.

---

Prof. Dr.

---

Prof. Dr.

---

Prof. Dr.

## **Dedicatória**

Aos meus pais, pelo amor, carinho e incentivo.

A toda criança que inicia a descoberta da leitura.

## Agradecimentos

*“Se a generosidade é a ponta de um novelo, a gratidão é a outra, que com ela coincide”.<sup>1</sup>*

À minha orientadora, Dra. Martina Navarro, pela incansável orientação e apoio, por instigar sempre o rigor metodológico, o pensamento crítico e o olhar minucioso, mas sobretudo, pelo incentivo e gentileza durante todos esses anos.

Ao meu orientador, Dr. Paulo Schor, pela confiança, por despertar a inquietude e o inconformismo científico, pelos diversos questionamentos, pelo incentivo à multidisciplinariedade; ao “em frente”.

À professora Dra. Clara Regina Brandão de Ávila e à fonoaudióloga Dra. Carolina Alves Ferreira de Carvalho, pelo apoio metodológico aos estudos realizados, pela gentileza que receberam as Ciências Visuais dentro do Departamento de Fonoaudiologia da Unifesp.

Ao professor Dr. Norbert Maïonchi-Pino, que prontamente se mostrou aberto à troca de experiências entre as Ciências Visuais e a Psicologia Cognitiva, e que prestou todo o apoio necessário durante meu estágio na Université Clermont-Auvergne.

Ao professor Dr. Felipe Mancini por trazer um olhar diferenciado e propor diferentes técnicas de análise de dados para esses estudos.

Ao aluno de mestrado do Programa de Gestão e Informática em Saúde, Antônio Carlos da Silva Júnior, que tanto tem se empenhado para desvendarmos os meandros da movimentação ocular e leitura.

Aos amigos e professores Olival Cardoso do Lago e Vagner Rogério dos Santos pelos comentários sempre pertinentes.

Ao engenheiro Pierre Chausse pela gentileza e apoio durante a programação de estímulos no estudo desenvolvido na França e à Céline Chauvet, fonoaudióloga e aluna de mestrado da Université Clermont-Auvergne pela dedicação compartilhada durante o planejamento e execução do estudo 2.

A todos os participantes desses estudos e seus familiares, por terem acreditado no nosso trabalho e apoiado a ciência.

À Associação Brasileira de Dislexia, em especial ao psicólogo Luiz Gustavo V. Simi e à Dra. Ângela Nico pelo apoio e confiança.

---

<sup>1</sup> CARRASCOZA, João Anzanello. **Diário das Coincidências**. Rio de Janeiro: Alfaguara, 2016

Aos esclarecimentos claros e precisos da Secretária de Pós-Graduação em Oftalmologia e Ciências Visuais da Unifesp, à sra. Joelma Silva.

À Profa. Dra. Denise de Freitas pela confiança e apoio.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pelo fomento à Bolsa Doutorado Sanduíche no Exterior – PDSE 88881.133578/2016-01.

A todos que direta ou indiretamente participaram desse processo de amadurecimento científico e pessoal, e que tem compartilhado as alegrias e dificuldades dessa aventura, meu “muito obrigada” ou “merci beaucoup”. Em especial, aos meus pais, Vera e Edirson, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos de honestidade e perseverança, e pelo incentivo desde a minha infância aos meus estudos. A Cassius e sua família que acompanharam muito dessa jornada. A Gerson, por toda sua luz e energia. À Smairah, pelos inúmeros “mornings”, apoio e sorrisos. À Meghane et Virginie, pour m’avoir accueillie avec toute l’amitié, gentillesse et tendresse. À Sandra e Gustavo, que compartilharam comigo de sua coragem, determinação e carinho. À Fernanda Pironneau, por trazer mais alegria e doçura aos dias de inverno europeu. A Marcelo pela lei natural dos encontros.

## Epígrafe

“Ler é um ato de poder”  
*Alberto Manguel.*

## Lista de figuras

Figura 1. Representação do espectro visível pelo olho humano .....	3
Figura 2. Anatomia do olho humano. ....	4
Figura 3. Representação de um olho emétrepe e as ametropias. ....	5
Figura 4. Distribuição dos cones e bastonetes em função da excentricidade retiniana. ....	6
Figura 5. Espectro de absorção de luz segundo o comprimento de onda. ....	6
Figura 6. O caminho visual desde o nervo óptico até o córtex visual. ....	8
Figura 7. Os músculos extraoculares. ....	9
Figura 8. Relação entre a AV e excentricidade retiniana. ....	13
Figura 9. Curva típica representando as funções visuais de leitura (FVL) .....	18
Figura 10. Modelo esquemático representando a movimentação ocular durante a leitura. ....	23
Figura 11. Modelo esquemático do processamento de palavras ouvidas e escritas. .... Erro! Indicador não definido.	
Figura 12. O modelo de Dupla-Rota em Cascata (DRC). ....	36
Figura 13. Representação de uma sentença da MNREAD-P1L. ....	73
Figura 14. Representação de uma sentença da MNREAD-P3L. ....	73
Figura 15. Acurácia média dos grupos controle e disléxicos para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L .....	78
Figura 16. Média das velocidades de leitura (ppm) dos grupos controle e disléxicos para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L .....	78
Figura 17. Representação da rede de neurônios de "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 1. ....	79
Figura 18. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 1. ....	79
Figura 19. Representação da rede de neurônios de "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 2. ....	80
Figura 20. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 2. ....	80
Figura 21. Representação da rede de neurônios de "cluster" 2x2 para MNREAD-P3. Análise 1. ....	81
Figura 22. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios "cluster" 2x2 para MNREAD-P3. Análise 1. ....	81
Figura 23. Representação da rede de neurônios de "cluster" 2x2 para MNREAD-P3. Análise 2. ....	82
Figura 24. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios "cluster" 2x2 para MNREAD-P3. Análise 2. ....	82
Figura 25. Visão global metodológica do Estudo 2. ....	86
Figura 26. Representação das tabelas usadas para medida da AV. ....	87
Figura 27. Representação do posicionamento do participante em relação ao monitor e ao eyetracker. ....	89
Figura 28. Representação do estímulo para o teste de aglomeração, ou "crowding". ....	89

<b>Figura 29. Representação do estímulo apresentado durante a tarefa de leitura.....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 30. Acurácia de leitura em porcentagem de acertos. ....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 31. Velocidade média de leitura em palavras por minuto durante teste de leitura para grupos e condições. ....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 32. Quantidade de fixações por grupo e estímulo. ....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 33. Quantidade de sacadas por grupo e estímulo. ....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 34. "Scanpath" representando o rastreamento ocular dos diferentes grupos durante a leitura para uma sentença com "layout" de espaçamento padrão entre as letras. ....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 35. "Scanpath" representando o rastreamento ocular dos diferentes grupos durante a leitura para uma sentença com "layout" de espaçamento espaçado entre as letras.....</b>	<b>98</b>
<b>Figura 36. Modelo esquemático representando as diversas etapas que compõem a delineação de estudos na investigação da leitura. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 37. Pirâmide para o protocolo visual.....</b>	<b>107</b>

## Lista de quadros

<b>Quadro 1. Músculos extraoculares: suas ações e inervações. ....</b>	<b>9</b>
<b>Quadro 2. Diferentes notações para a representação da acuidade visual. ....</b>	<b>13</b>
<b>Quadro 4. Diferenças na duração média de fixação e amplitude média de sacada para diferentes tarefas. ....</b>	<b>22</b>
<b>Quadro 5. Modelos computacionais de leitura. ....</b>	<b>25</b>
<b>Quadro 6. Rotas lexical e fonológica e suas respectivas funções na leitura de palavras regulares, irregulares e pseudopalavras. ....</b>	<b>28</b>
<b>Quadro 7. Modelos computacionais acerca do rastreamento ocular durante a leitura. ....</b>	<b>54</b>
<b>Quadro 8. Variáveis mais utilizadas na avaliação quantitativa da movimentação ocular relacionada à leitura. ....</b>	<b>63</b>
<b>Quadro 9. Variáveis mais utilizadas na avaliação qualitativa da movimentação ocular relacionada à leitura. ....</b>	<b>64</b>
<b>Quadro 10. Elementos considerados para a avaliação do “teste de aglomeração”. ....</b>	<b>93</b>

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1. Médias (e Desvios Padrão) das variáveis máxima velocidade de leitura (VML), tamanho crítico de letra (TCL) e acuidade de leitura (AL) para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L para os grupos controle e disléxicos. ....</b>	<b>77</b>
<b>Tabela 2. Acuidade visual dos participantes durante a leitura da Lea Symbols e Tabela Desenvolvida. ....</b>	<b>92</b>

## Lista de abreviaturas

<b>aprox.</b>	aproximadamente
<b>et al.</b>	e outros
<b>e.g.</b>	por exemplo
<b>i.e.</b>	isto é

## Lista de siglas

**AC** – Acurácia de leitura

**AL** – Acuidade de Leitura

**ANOVA** – Análise de Variância

**ANOVA-RM** – ANOVA medidas repetidas

**ATCL** – Acurácia no Tamanho Crítico de Letra

**AV** – Acuidade Visual

**BREV** – “*Batterie Rapide d’Évaluation des Fonctions Cognitives*” ou Bateria rápida de avaliação das funções cognitivas

**CCV** – Consoante - Consoante - Vogal

**CEP** – Comitê de Ética em Pesquisa

**CIM** – “*Classification Internationale des Maladies*” ou “*International Classification of Diseases -ICD*” ou “Classificação Internacional de Doenças”

**CV** – Campo Visual

**CV** – Consoante - Vogal

**CVC** – Consoante - Vogal - Consoante

**DL** – Decisão Lexical

**DP** – Desvio Padrão

**DRC** – “*Dual - Route Cascaded*” ou Dupla Rota em Cascata

**EDA** – “*Évaluation des fonctions cognitives et apprentissages*” ou Avaliação das funções cognitivas e de aprendizado

**FR** – Francês

**FV** – Funções Visuais

**FVL** – Funções Visuais de Leitura

**GAG** – “*Gradient by Attention Guidance*” ou modelo de atenção gradiente

**IA** – Inteligência Artificial

**IOVP** – “*Inverted Optimal Viewing Position*” ou Efeito Invertido da Posição Ótima do Olhar

**IP** – Identificação Perceptual

**LMVL** – Linha correspondente à Máxima Velocidade de Leitura

**LN** – Leitura Natural

**LVA** – Leitura em Voz Alta

**MANOVA** – Análise de Variância Multivariada

**MAR** – Mínimo Ângulo de Resolução

**MAT/COMP** – Matemático ou Computacional

**MEO** – Músculos extraoculares ou Músculos Oculares Extrínsecos

**MNREAD** – *Minnesota Low-Vision Reading Test*

**MNREAD-P** – *Minnesota Low-Vision Reading Test* adaptada para o PB

**MNREAD-P1L** – *Minnesota Low-Vision Reading Test* adaptada para o PB,

sentenças apresentadas somente em uma linha

**MNREAD-P3L** – *Minnesota Low-Vision Reading Test* adaptada para o PB,

sentenças apresentadas em 3 linhas diferentes

**MVL** – Máxima Velocidade de Leitura

**NGL** – Núcleo Genuculado Lateral

**OI** – Músculo Oblíquo Inferior

**OLP** – “*Optimal Landing Position*” ou “posição ótima do olhar”

**OMS** – Organização Mundial de Saúde

**OS** – Músculo Oblíquo Superior

**PB** – Português Brasileiro

**PE** – Português Europeu

**POO** – Posição Ótima do Olhar

**QPA** – Quantidade de Palavras Apresentadas

**QPLC** – Quantidade de Palavras Lidas Corretamente

**QPP** – Quantidade de Palavras Previstas

**QPV** – Quantidade de Palavras Verbalizadas

**QPVC** – Quantidade de Palavras Verbalizadas Corretamente

**RI** – Músculo Reto Inferior

**RL** – Músculo Reto Lateral

**RM** – Músculo Reto Medial

**RS** – Músculo Reto Superior

**SAS** – “*Serial Attention Shift*” ou modelo serial de atenção

**SI** – Sistema Internacional de Unidades

**SOM** – “*Self Organized Map*” ou algoritmo de mapas auto-organizáveis

**TCL** – Tamanho Crítico de Letra

**TCLE** – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

**TNL** – Tabela Numérica de Leitura

**Unifesp** – Universidade Federal de São Paulo

**VL** – Velocidade de Leitura

## Lista de símbolos

**DP** – desvio padrão

**logMAR** – logaritmo do Mínimo Ângulo de Resolução

**m** – metros

**M** – média

**ms** – milissegundo

num/s - número de um dado movimento por segundo

**ppm** – Palavras por Minuto

**pt** – *points*

**px** – *pixels*

° – grau

°/s – graus por segundo

' – minuto

$\alpha$  – ângulo visual

## Sumário

Dedicatória .....	v
Agradecimentos.....	vi
Epígrafe.....	viii
Lista de figuras .....	ix
Lista de quadros .....	xi
Lista de tabelas .....	xii
Lista de abreviaturas .....	xiii
Lista de siglas.....	xiv
Lista de símbolos.....	xvii
Resumo .....	xxii
Abstract .....	xxiv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Geral: .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos do Estudo 1:.....</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Objetivos Específicos do Estudo 2:.....</b>	<b>2</b>
<b>3. A) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA I – O SISTEMA VISUAL E OS REQUISITOS VISUAIS PARA A LEITURA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1. O ambiente e o sistema visual .....</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Anatomia e fisiologia do olho humano.....</b>	<b>3</b>
<b>3.2.1. O olho como um sistema óptico .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2.2. Da luz à percepção.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2.3. Os músculos oculares extrínsecos .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Os requisitos visuais para a leitura .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3.1. Acuidade visual e excentricidade retiniana .....</b>	<b>11</b>
<b>3.3.2. A extração parafoveal da informação.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3.3. Funções visuais de leitura .....</b>	<b>15</b>

3.3.4. Os movimentos oculares como indicadores “on-line” dos processos cognitivos .....	19
3.3.5. A movimentação ocular e leitura .....	22
3. B) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA II – A ARQUITETURA FUNCIONAL DA LEITURA.....	25
3.4. Teorias relacionadas à leitura .....	25
3.4.1. Modelos de arquitetura funcional da leitura .....	26
3.4.2. Processamento serial ou paralelo? .....	31
3.4.3. Os modelos conexionistas e não-conexionistas de leitura .....	32
3.4.4. Regularidade ortográfica .....	36
3. C) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA III – DISLEXIA: CLASSIFICAÇÃO, HIPÓTESES EXPLICATIVAS E CARACTERÍSTICAS.....	39
3.5. A dislexia .....	39
3.5.1. As conexões cerebrais .....	40
3.5.2. As diferentes classificações na dislexia de desenvolvimento .....	42
3.5.3. Origens e hipóteses explicativas .....	45
3.5.4. Dislexia e ciências visuais.....	48
3. D) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA IV – MODELOS COMPUTACIONAIS DE CONTROLE DA MOVIMENTAÇÃO OCULAR DURANTE A LEITURA .....	51
3.6. Modelos computacionais e o rastreamento ocular.....	51
3.6.1. “ <i>Strategy-tactics model</i> ” .....	55
3.6.2. E-Z reader .....	55
3.6.3. SWIFT.....	58
3. E) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA V – O USO DO “EYETRACKER” PARA O ESTUDO DA LEITURA .....	59
3.7. “ <i>Eyetracker</i> ” e leitura.....	59
3.7.1. O aparato tecnológico .....	60
3.7.2. O tratamento dos dados .....	63

3.8. Viéses associados com o uso do comportamento ocular como um indicador de processos cognitivos .....	64
3.8.1. A tarefa de leitura (palavras, sentenças ou textos) .....	65
3.8.2. Características visuais e lexicais das palavras (tamanho da palavra e sua frequência lexical).....	67
3.8.3. A experiência do leitor: normo-leitores e disléxicos .....	67
3.8.4. “Layout” e seus efeitos na movimentação ocular: o tamanho de letra, a fonte e o espaçamento entre letras. ....	69
3.8.5. As instruções sobre a tarefa .....	71
4. A) METODOLOGIA – ESTUDO 1 .....	72
4.1. Participantes.....	72
4.2. Aparelhagem e Desenho Experimental .....	72
4.3. Procedimentos .....	73
4.4. Análise de dados.....	74
5. A) RESULTADOS – ESTUDO 1.....	76
5.1. Resultados: Estudo 1 – Tabelas MNREAD-P.....	76
5.1.1. Funções visuais de leitura (FVL).....	76
5.1.2. Desempenho de leitura.....	77
6. A) DISCUSSÃO – ESTUDO 1 .....	82
7. A) CONCLUSÃO – ESTUDO 1 .....	84
4. B) METODOLOGIA – ESTUDO 2 .....	85
4.1. Participantes.....	85
4.2. Aparelhagem .....	85
4.3. Desenho experimental e procedimentos.....	88
4.4. Análise de dados.....	90
5. B) RESULTADOS – ESTUDO 2.....	92
5.1. Acuidade Visual .....	92
5.2. Teste de aglomeração (“crowding”).....	92
5.3. Teste de leitura.....	94

5.3.1. Desempenho de leitura.....	94
5.3.2. Dados do Olhar .....	95
6. B) DISCUSSÃO – ESTUDO 2.....	98
6.1. Acuidade visual.....	98
6.2. Teste de aglomeração “ <i>crowding</i> ” .....	99
6.3. Desempenho de leitura.....	100
6.4. Dados do olhar .....	101
7. B) CONCLUSÃO – ESTUDO 2 .....	102
8. PERSPECTIVAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	103
9. ANEXOS .....	108
9.1. Anexo I – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa.....	108
9.2. Anexo II – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido .....	108
10. BIBLIOGRAFIA.....	110

## Resumo

A leitura é uma tarefa cotidiana que requer o orquestramento de diversos processos perceptuais-cognitivos, incluindo a movimentação ocular. Durante a leitura, os movimentos dos olhos buscam e iniciam o processamento da informação contida no texto, e condições como a dislexia afetam o rastreamento visual e conseqüentemente a compreensão textual. Estratégias para facilitar o processo de leitura incluem manipulações na apresentação visual do texto impresso ou digital, como por exemplo, tamanho ou tipo de fonte. No entanto, a vasta maioria dos estudos na área negligenciam populações com dificuldades de leitura, como disléxicos, e poucos estudos incluem movimentos dos olhos e outras variáveis visuais (e.g. acuidade de leitura) essenciais na compreensão da leitura. Portanto, a presente tese teve como objetivo principal investigar os efeitos da manipulação do “layout” textual na percepção visual e movimentação ocular de indivíduos normo-leitores e disléxicos durante a leitura. Dessa forma, foram desenvolvidos dois estudos. O primeiro visa investigar o efeito do espaçamento entre linhas nas Funções Visuais de Leitura (FVL), velocidade de leitura e acurácia. O segundo aborda o efeito do espaçamento entre letras sobre a movimentação ocular, velocidade de leitura e compreensão leitora. Participaram voluntariamente do primeiro estudo 18 indivíduos normo-leitores ( $M = 23.67$  anos,  $DP = 8.84$ ) e 20 disléxicos ( $M = 15.05$  anos,  $DP = 6.55$ ), nativos do idioma Português Brasileiro (PB). No segundo estudo participaram 40 normo – leitores adultos (idade cronológica:  $M = 19.75$  anos,  $DP = 1.71$ ), 38 normo – leitores crianças (idade cronológica  $M = 9.04$  anos,  $DP = 1.95$  e idade lexical  $M = 9.16$ ,  $DP = 2.12$ ) e 14 crianças disléxicas (idade cronológica  $M = 10.47$  anos,  $DP = 1.28$  e idade lexical  $M = 7.43$  anos  $DP = 0.59$ ) nativas do idioma francês. Os resultados do primeiro estudo evidenciam as dificuldades de leitura dos disléxicos, através da menor velocidade de leitura e da diferença significativa de desempenho entre os grupos: disléxicos apresentam Acuidade de Leitura (AL) e Tamanho Crítico de Letra (TCL) piores do que o grupo normo-leitor. No entanto, ao contrário do que era previamente hipotetizado, a manipulação do layout para esse caso não demonstrou influência significativa sobre ambos os grupos, apesar de técnicas de machine learning demonstrarem comportamentos diferentes entre os grupos para cada um dos layouts apresentados. No segundo estudo, a manipulação do espaçamento entre letras sobre a movimentação ocular é notória tanto para os normo-leitores quanto para o grupo disléxico. Houve diferença significativa entre os

grupos para quantidade tanto de fixações quanto de sacadas. Na avaliação do espaçamento, houve diferença significativa tanto para quantidade de fixações e sacadas quanto para a frequência. A avaliação da movimentação ocular é apontada na literatura como uma ferramenta poderosa para a compreensão em tempo real do processamento cognitivo. Assim sendo, é possível correlacionar o pior desempenho da movimentação ocular de disléxicos em relação à dificuldade de leitura: crianças disléxicas apresentaram uma maior quantidade de fixações e sacadas do que crianças normo – leitoras e essas, por conseguinte, do que adultos normo-leitores. Concluindo, os estudos desenvolvidos nesse trabalho comprovam a importância do estudo do efeito da manipulação do layout sobre o desempenho de leitura, sobretudo em indivíduos com dificuldade de aprendizagem, e principalmente, dado o contexto sócio – cultural atual, no qual o uso de mídias tecnológicas (e.g. tablets) tem sido amplamente disseminado e utilizado no processo educacional de crianças.

## Abstract

Reading is a daily task that requires the organisation of several perceptual-cognitive processes, including ocular movement. During reading, eye movements seek and start processing the information contained in a text, and conditions such as dyslexia affect visual search and consequently textual comprehension. Strategies to facilitate the reading process include manipulations in the visual display of printed or digital text, such as font size or font type. However, the vast majority of studies in the field neglect populations with reading difficulties, such as dyslexics, and only few studies investigate eye movements linked to other visual aspects (e.g., reading acuity) also essential in reading comprehension. Therefore, the main purpose of this thesis was to investigate the effects of changes in textual layout on the visual perception and ocular movement of non-dyslexic and dyslexics readers during reading. For this purpose, two studies were designed: The first one aimed to investigate the effects of space between lines on Visual Reading Functions (VRF), reading speed and accuracy. The second one focused on the effects of space between letters on eye movements, reading speed and reading comprehension. Eighteen skilled readers ( $M = 23.67$  years,  $SD = 8.84$ ) and 20 dyslexics ( $M = 15.05$  years,  $SD = 6.55$ ) both natives to the Brazilian Portuguese language (PB) voluntarily participated in the first study. Participated in the second study, 40 adult skilled readers (chronological age:  $M = 19.75$  years,  $SD = 1.71$ ), 38 non-dyslexic children (chronological age  $M = 9.04$  years,  $SD = 1.95$  and lexical age  $M = 9.16$ ,  $SD = 2.12$ ) and 14 dyslexic children (chronological age  $M = 10.47$  years,  $SD = 1.28$  and lexical age  $M = 7.43$  years  $SD = 0.59$ ) native to the French language. The results of the first study confirmed dyslexics's reading difficulties, as this group had slower reading speed than the non-dyslexic group. In addition, dyslexics presented reduced Reading Acuity (RA) and larger Critical Print Size (CPS) than skilled readers. However, in contrast to what was previously hypothesized, the changes in the visual layout did not show significant influence on both groups, although machine learning techniques demonstrated different behaviors between groups for each text layout presented.

In the second study, the manipulation effect of interletter spacing on ocular movement was notorious for both non-dyslexics and dyslexic groups. There was a significant difference between groups for the number of fixations as well as number of saccades. There was a significant difference for the number and frequency of fixations and saccades between

interletter spacing conditions. In current literature, the use of ocular movement has been suggested as a powerful tool for the real-time understanding of cognitive processing. In this study, it was possible to correlate ocular movement poor performance of dyslexics to their reading difficulty: dyslexic children presented a greater number of fixations and saccades than non-dyslexic children and adult readers. In conclusion, the studies developed in this thesis highlight the importance of understanding the effects of layout manipulation on reading performance, especially in individuals with learning difficulties. This is of particular importance given the current socio - cultural context in which the use of technological media (e.g., tablets) has been widely disseminated and used in the educational process of children.

## 1. INTRODUÇÃO

O estudo da leitura segundo o ponto de vista das ciências visuais pode ser separado em duas grandes áreas. A primeira área foca no estudo das funções visuais de leitura (FVL) e suas aplicações ocorrem predominantemente no ramo de prescrição de auxílios ópticos em pacientes com baixa visão. A segunda área estuda a movimentação ocular (aspectos espaciais e temporais) durante a leitura com foco majoritário na compreensão de mecanismos básicos de processamento visual (e.g. qual duração mínima de uma fixação ocular para reconhecimento de uma palavra). O presente trabalho propõe aplicar ambas abordagens na avaliação do desempenho de leitura em indivíduos normo-leitores e em indivíduos disléxicos. Nesse trabalho são descritos dois estudos: o primeiro visa avaliar as FVL conforme a leitura da tabela MNREAD-P, adaptada para a investigação do efeito do layout sobre o desempenho de leitura. O segundo é um projeto multicêntrico, realizado inicialmente para o idioma francês (FR) e que pretende ser estendido para o português brasileiro (PB), cujo objetivo é a avaliação da movimentação ocular (i.e., sacadas, fixações e posição de aterrissagem do olhar) de normo-leitores e disléxicos em uma outra tarefa de leitura. Adicionalmente, será investigado o fenômeno de aglomeração, em inglês, “crowding”.

Esse projeto está estruturado da seguinte forma: na presente seção, uma introdução sucinta para situar o leitor, seguido por um capítulo sobre os objetivos dos estudos. No Capítulo 3 são apresentados os principais fundamentos teóricos (Capítulos 3.A, B, C, D e E) utilizados como base para o desenho experimental. Nesse capítulo, são abordados desde os conceitos básicos sobre o sistema visual, até a apresentação da arquitetura funcional da leitura, hipóteses e características da dislexia e modelos computacionais de controle da movimentação ocular durante a leitura. Nos capítulos seguintes cada estudo é abordado separadamente incluindo as seções “objetivos”, “metodologia”, “discussão” e “conclusão”, de modo a tornar a tese mais didática e facilitar o entendimento do leitor. Na seção que encerra essa tese, “Perspectivas e considerações finais”, são sugeridas possibilidades de investigações futuras com base nos achados atuais, descrevendo em termos práticos, orientações metodológicas que devem ser consideradas durante o desenho experimental de estudos que usem as ciências visuais para investigação da leitura.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral:**

Compreender como mudanças no layout de textos influenciam a percepção visual de disléxicos e normo-leitores durante a leitura.

### **2.2. Objetivos Específicos do Estudo 1:**

Investigar o efeito do espaçamento entre linhas nas FVL (i.e., acuidade de leitura, tamanho crítico de letra e máxima velocidade de leitura) e no desempenho de leitura (i.e., velocidade de leitura e acurácia) durante a leitura de sentenças advindas da MNREAD-P por indivíduos normo-leitores e disléxicos.

### **2.3. Objetivos Específicos do Estudo 2:**

Avaliar o efeito do espaçamento entre letras sobre a movimentação ocular e desempenho de leitura (i.e., velocidade de leitura e compreensão leitora) de um texto em indivíduos normo-leitores e disléxicos nativos do idioma francês.

### 3. A) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA I – O SISTEMA VISUAL E OS REQUISITOS VISUAIS PARA A LEITURA

#### 3.1. O ambiente e o sistema visual

A atmosfera peculiar da Terra e sua relação única com o Sol permitem que a luz visível, uma pequena porção do espectro eletromagnético (Figura 1), esteja disponível para os olhos humanos. Os olhos são produto do processo evolutivo que sintonizou esses comprimentos de onda únicos à níveis de intensidade seguros. O aspecto único da retina dos vertebrados é de que sua estrutura óptica transparente, a molécula de rodopsina, o tamanho dos cones, estão todos vertidos para interagir magistralmente com os comprimentos de onda da luz visível (Levin, Nilsson, Hoeve, & Wu, 2011).

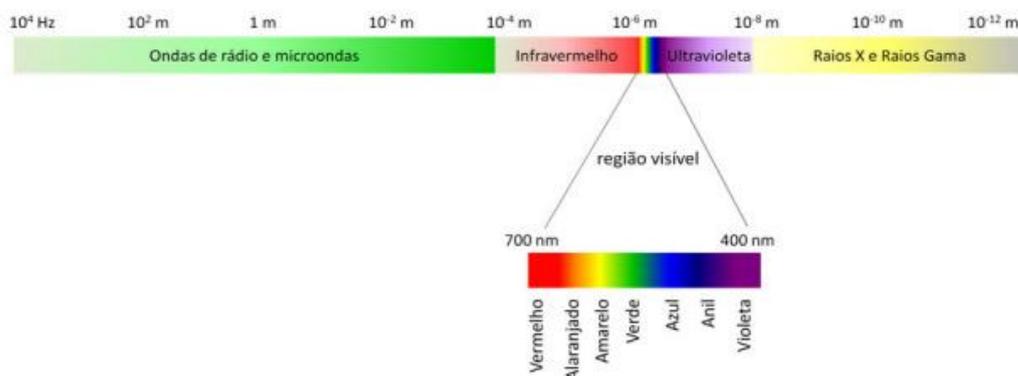


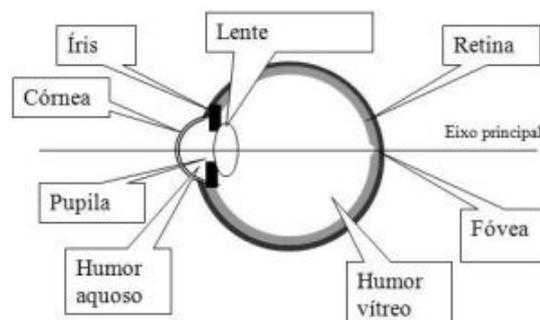
Figura 1. Representação do espectro visível pelo olho humano em destaque dentro do espectro eletromagnético. (Scarinci e Marineli, 2014).

#### 3.2. Anatomia e fisiologia do olho humano

A combinação entre uma estrutura anatômica intacta e funcionando orquestralmente permitem a percepção dos estímulos ao redor. Os seres humanos tem a capacidade de distinguir formas, cores e profundidade, no entanto, o posicionamento dos olhos em frente, lado a lado, conferem um campo visual limitado que não permite a visualização de  $360^\circ$  do ambiente, mas que, em contrapartida, permitem a visualização do mundo em três dimensões “3D”. Uma apresentação aprofundada da anatomia e fisiologia ocular está fora do escopo desse trabalho, no entanto, uma abordagem geral se faz necessária para situar

o leitor no ‘universo visual’. A anatomia do olho humano pode ser observada na Figura 2 e será usada como referência para o estudo das estruturas oculares e suas funções.

Ademais, é importante salientar que não somente os olhos são responsáveis pela visão, diversas outras estruturas estão relacionadas ao processo. De uma forma geral, é possível resumir a visão da seguinte forma: a luz é direcionada pelas estruturas ópticas dos olhos, que por sua vez é focada na retina, local onde células específicas transformam luz em impulsos elétricos, que em seguida são enviados e selecionados de acordo com as capacidades específicas na discriminação de formas, cores e movimento, e por final, processadas e traduzidas em informação visual.



**Figura 2. Anatomia do olho humano.** (Helene, & Helene, 2011).

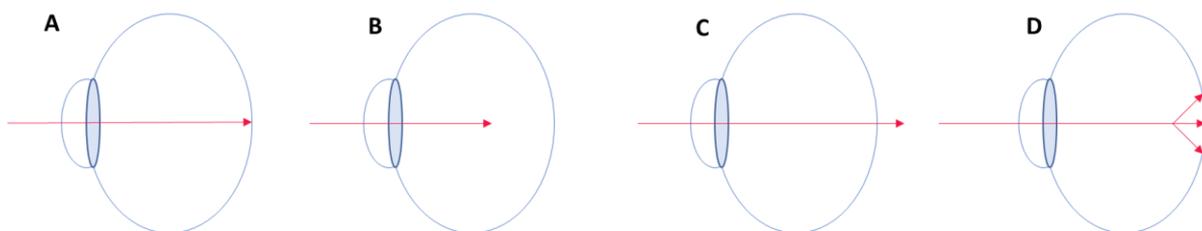
### 3.2.1. O olho como um sistema óptico

O sistema óptico do olho humano é composto por três estruturas: a córnea, a íris e o cristalino (Lombardo, Serrao, Devaney, Parravano, & Lombardo, 2012). A córnea, o elemento óptico mais externo, é responsável por quase 2/3 do poder óptico e aberrações do olho (Levin, Nilsson, Hoeve, & Wu, 2011a). A íris controla a quantidade de luz que chega até a retina através da regulação da abertura e fechamento da pupila (i.e., redução e aumento do diâmetro pupilar). Como em qualquer sistema óptico, o tamanho da abertura que permite a passagem de luz (i.e., diâmetro da pupila no caso do sistema ocular) tem consequência importantíssima na formação da imagem: quanto menor o tamanho pupilar, maior a profundidade de foco e menor o efeito de aberrações de alta ordem. De modo inverso, maior diâmetro pupilar resultará em menor profundidade de foco, maior o efeito de aberrações de alta ordem e, portanto, menor a qualidade da imagem formada na retina. O

crystalino é responsável por cerca de 1/3 do poder óptico do olho, e apesar de quantitativamente contribuir menos do que a córnea para o poder óptico do olho, tem a capacidade única de mudar as propriedades focais, e, portanto, não é menos importante do que a córnea. A mudança de forma e espessura do cristalino possibilita a mudança de foco para perto ou longe, processo esse conhecido como acomodação.

O poder óptico de superfícies curvas depende basicamente de dois fatores: índice de refração do material, e seu raio de curvatura (Keirl & Christie, 2007). O sistema óptico do olho humano é afetado por aberrações que limitam a qualidade da imagem que é projetada na retina e por conseguinte, interfere na qualidade da percepção visual (Berrio, Taberner, & Artal, 2010). As aberrações podem ser classificadas de acordo com a sua natureza, ou seja, aberrações esféricas ou cromáticas. As aberrações esféricas podem ser classificadas como sendo de baixa ordem, ou seja, os erros refrativos (miopia, hipermetropia e astigmatismo regular) ou de alta ordem, que não cabem serem explicadas nesse trabalho (para revisão, veja (Jankov, Mrochen, Schor, Chamon, & Seiler, 2002).

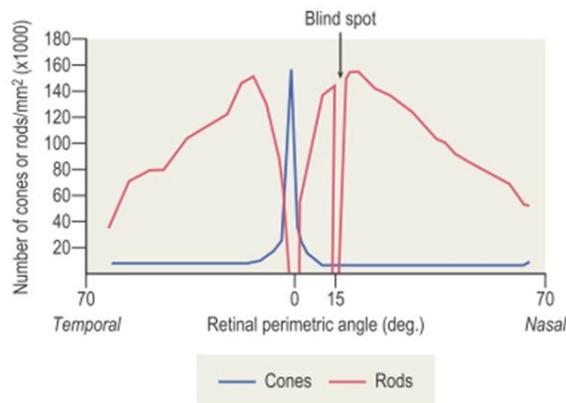
A fim de esclarecer conceitos arbitrariamente utilizados no cotidiano, como miopia, hipermetropia e astigmatismo, reserva-se aqui esse espaço para discutir com parcimônia esses conceitos que estão diretamente relacionados à Acuidade Visual (AV) (para mais detalhes veja seção 3.3.1). Em um olho emétopico (i.e. olho sem aberrações oculares), a relação entre o comprimento axial, ou seja, a distância entre o ápice da córnea e o ponto focal na retina (precisamente, na fóvea), e o poder refrativo dos meios ópticos (córnea e cristalino) estão perfeitamente relacionados, de forma que a imagem formada está precisamente localizada na retina (Keirl & Christie, 2007). Por outro lado, quando essa relação não é perfeita, há uma ametropia (Figura 3), que pode ser do tipo miopia (quando a imagem é formada atrás da retina), hipermetropia (quando a imagem é formada à frente da retina) ou astigmatismo (imagem é focada em vários pontos na retina (Levin, Nilsson, Hoeve, & Wu, 2011b).



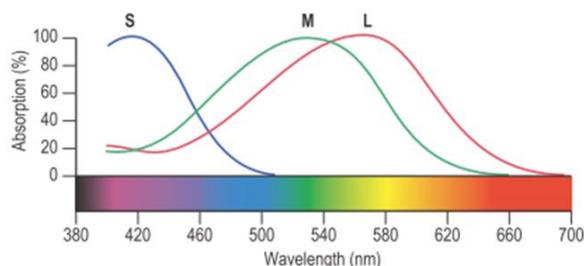
**Figura 3. Representação de um olho emétopico e as ametropias. A) olho emétopico. B) Olho míope. C) Olho hipermetrope. D) Olho astigmata. Fonte: o autor**

### 3.2.2. Da luz à percepção

A retina é a porção do olho sensibilizada pela luz, onde a imagem é formada. Essa estrutura é responsável por realizar a transdução, ou seja, a conversão de luz em impulso nervoso. Ela está conectada ao cérebro através do nervo óptico. São os cones e bastonetes, localizados na retina, as células responsáveis pela transdução. Apesar de ambos realizarem o mesmo processo, são excitados por diferentes comprimentos de onda, além de estarem distribuídos de forma diferente na retina. Os bastonetes são excitados por baixos níveis de iluminação e são encontrados em sua grande maioria na periferia da retina, sendo a grosso modo, responsáveis pela visão noturna e percepção de movimento. De modo oposto, os cones são sensíveis à alta iluminação, estão concentrados na região central e a grosso modo responsáveis pela percepção de cores. Na Figura 4 é possível observar a distribuição dos fotorreceptores ao longo da retina, enquanto que na Figura 5 é possível observar o espectro de absorção luminosa a partir dos tipos de cones.



**Figura 4. Distribuição dos cones e bastonetes em função da excentricidade retiniana. Cones (cones) representados em azul e bastonetes (rods) em vermelho. Ressalta-se que na região em que o nervo óptico está localizado (popularmente conhecido como "ponto cego") não há a presença de fotorreceptores.** (Levin et al., 2011b)



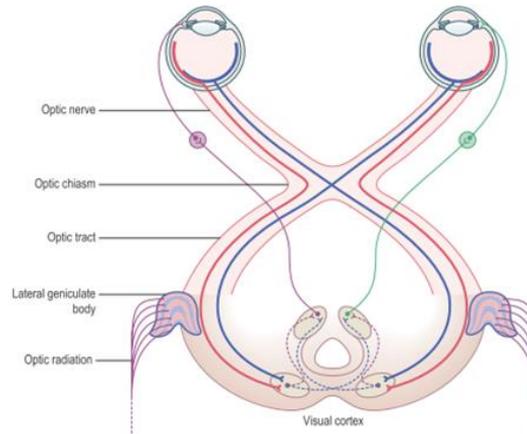
**Figura 5. Espectro de absorção de luz segundo o comprimento de onda. Os cones de absorção de curto comprimento de onda ("short" - S), médio ("middle" - M) e longo ("long" - L). Os cones "S"**

absorvem comprimentos de onda próximos a 415nm, os cones "M" próximos a 530nm e os "L" próximos a 560nm. (Levin et al., 2011b)

A luz que passa pelos meios ópticos é convertida pelos fotorreceptores em impulso elétrico que em seguida é transmitido pelos axônios das células ganglionares que formam o nervo óptico. O nervo óptico de cada um dos olhos se entrecruzam e formam o quiasma óptico, de onde partem os tratos ópticos. No quiasma, as fibras nasais cruzam para o outro lado, enquanto as fibras temporais seguem do mesmo lado, sem cruzamento. As fibras dos tratos ópticos seguem em direção ao núcleo geniculado lateral (NGL), onde distinguem-se dois sistemas paralelos de processamento da informação visual: sistemas magno e parvocelular. A distinção entre parvo e magno baseia-se na organização anatômica do NGL que é dividido em 6 camadas (Skottun, 2000). As duas camadas centrais contêm neurônios grandes e, portanto, são denominadas de camadas magnocelulares. As quatro camadas dorsais, por sua vez, contêm pequenos neurônios e, portanto, são chamadas de camadas parvocelulares. Geralmente, as camadas magnocelulares mediam a detecção de movimento e rápidas mudanças temporais enquanto que as camadas parvocelulares são especializadas na detecção de formas e visão de cores.

No NGL há uma sinapse com as fibras nervosas que transmitem a informação ao córtex visual primário (V1 ou área 17). No córtex visual primário há o mapeamento retinotópico da informação proveniente de ambos os olhos (quando há o desenvolvimento normal da visão de ambos os olhos, caso contrário, a privação visual pode acarretar na ambliopia). A partir do córtex visual primário há ainda interações complexas com outras áreas cerebrais. Uma visão generalizada do caminho visual pode ser observada na Figura 6. As principais projeções de V1 para o córtex extra-estriado são as áreas V2, V3, V4 e MT. Essas projeções surgem de diferentes classes de neurônios advindos de V1. O córtex estriado segrega e depois recombina os "inputs", ou "entradas" visuais advindos das três vias visuais retino-geniculo-cortical: parvocelular, magnocelular e koniocelular. As células parvocelulares (cerca de 90%) são responsáveis no processamento fino da informação, ou seja, alta frequência espacial e de baixa frequência temporal, bem como a detecção do contraste. Além disso, são responsáveis especificamente, pelo processamento de informação relacionada a detalhes e cores. As células magnocelulares são menos numerosas (cerca de 10%), sua própria constituição (um grande corpo celular, dendritos estendidos e axônios mielinizados) garante uma condução mais rápida das informações do

que aquelas transmitidas pelas células parvocelulares. As células magnocelulares são especializadas no processamento de informação mais grosseira, como a detecção de baixas frequências espaciais e alta frequência temporal, e além disso, são responsáveis pela detecção de movimento. As projeções que saem de V1 dão origem a dois diferentes processamentos extra-estriado: uma via dorsal, responsável pela visão espacial “onde” e outra via responsável pela identificação do objeto “o quê”.



**Figura 6. Ilustração representando o caminho visual desde o nervo óptico até o córtex visual** (Levin et al., 2011b).

### 3.2.3. Os músculos oculares extrínsecos

Se por um lado, o posicionamento dos olhos não garante uma visão 360° do ambiente, a possibilidade de rotação da cabeça, bem como a de movimentação ocular conferem a possibilidade de inspeção do ambiente ao redor. A movimentação ocular de cada um dos olhos acontece de maneira conjugada, de forma a manter a correspondência retiniana dos elementos vistos dentro do campo binocular. Esses movimentos só são possíveis graças a um complexo sistema oculomotor que tem como efetor final os músculos extrínsecos oculares (Levin et al., 2011a). A orientação de cada um dos olhos é controlada por um par de seis músculos extraoculares (MEO) (Figura 7): reto lateral (RL), reto medial (RM), reto superior (RS), reto inferior (RI), oblíquo superior (OS) e oblíquo inferior (OI). Os músculos agem de maneira coordenada realizando um movimento de “puxa-empurra”, ou seja, agem em pares de forma agonista/antagonista, (RL/RM, RS/RI, OS/OI) (Levin et al., 2011b, Bicas, 2003, informações sobre suas ações e inervações podem ser vistas no Quadro 1). Existem basicamente, quatro tipos de movimentos oculares: movimentos

sacádico, de perseguição lenta, vergencial, e vestibulo-ocular (Purves, Augustine, Fitzpatrick, et al., 2001)

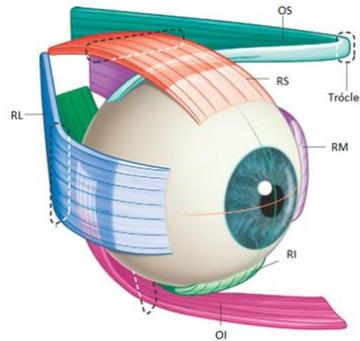


Figura 7. Os músculos extraoculares. (Levin et al., 2011b)

Quadro 1. Músculos extraoculares: suas ações e inervações.

Músculo	Ação Primária	Ação Secundária	Inervação motora	Antagonista	Sinergista
Reto lateral	Abdução	Nenhuma	Abdutor	Reto medial	RS e OI
Reto medial	Adução	Nenhuma	Oculomotor	Reto lateral	RS e RI
Reto superior	Elevação	Adução	Oculomotor	Reto inferior	RM e RI
		Intorção			OS
Reto Inferior	Depressão	Adução	Oculomotor	Reto superior	RM e RS
		Extorsão			OI e RS
Oblíquo superior	Intorção	Depressão	TrocLEAR	Oblíquo inferior	RI
		Abdução			RL e OI
Oblíquo inferior	Extorção	Elevação	Oculomotor	Oblíquo superior	RS
		Abdução			RM e OS

### 3.3. Os requisitos visuais para a leitura

Nas seções anteriores foi possível apreender como as estruturas anatômicas do olho humano estão envolvidas na captação e direcionamento do estímulo luminoso na retina, e como as sinapses neurais e o processamento da informação visual é segmentado e especializado. Assim sendo, é possível afirmar que somente o perfeito orquestramento entre anatomia e fisiologia garantem a percepção do ambiente. Nessa seção, esse conceito será expandido para o próximo nível de tratamento do estímulo visual. Aqui, apresenta-se o substrato necessário para a reflexão sobre quais aspectos visuais (de baixo e alto nível

do processamento cognitivo) interferem na percepção do estímulo visual que é objeto de interesse desse estudo científico: a leitura.

Se por um lado já está claro que a percepção visual depende da capacidade do receptor (nesse caso, especificamente, o leitor) de receber e tratar esse estímulo, por outro, as características do estímulo (nesse caso, especificamente, o código alfabético escrito) também podem influenciar (facilitar ou dificultar) o processamento visual. Na sociedade atual a leitura é extremamente importante uma vez que grande parte da informação transmitida é realizada na forma escrita. É quase contra intuitivo afirmar que a leitura é uma habilidade complexa, uma vez que é praticada continuamente e que ao avançar da idade, torna-se “automática”. No entanto, como será apresentado adiante, a leitura é um processo que tem atraído a atenção de vários cientistas cognitivos, uma vez que essa habilidade envolve o orquestramento de diversos processos cognitivos, como apontado por (Rayner & Reichle, 2010). Sobre “processos cognitivos”, introduz-se aqui, duas grandes áreas, a saber: o processamento visual, do qual a abordagem foi iniciada anteriormente e que se estenderá ao longo dessa tese e o processamento da leitura, ou seja, o processamento grafo-fonêmico.

Na tentativa de elucidar como esses processos cognitivos relacionados à leitura ocorrem, diversos modelos computacionais foram desenvolvidos. Idealmente, é possível dividir o estudo desses processos em 1. identificação de palavras, 2. análise sintática, 3. representação do discurso, e 4. movimentação ocular, sendo esses itens apenas uma breve citação das inúmeras possibilidades de estudo. Como dito anteriormente, a leitura é resultado do orquestramento desses diversos processos cognitivos e devido a essa interação muitos estudos em modelos computacionais acabam por misturar definições entre as áreas (aqui, ao que concerne o processamento visual e ao que concerne à produção da palavra falada). A confusão ocorre principalmente em estudos interdisciplinares de alta complexidade, que, por exemplo, investigam como certos aspectos do processamento de linguagem (e.g., identificação da palavra) em conjunto com alguma restrição (e.g., baixa de acuidade visual, erro sacádico) guiam o rastreamento ocular durante a leitura. Não é do escopo desse estudo a descrição detalhada desses diversos modelos, mas uma revisão pode ser acessada no trabalho de Rayner e Reichle (2010)

Sendo assim, propõe-se a divisão da avaliação da percepção visual relacionada a leitura em: 1. aos aspectos anatômicos, 2. à integridade fisiológica, 3. à avaliação das

funções visuais e 4. à avaliação do rastreamento ocular. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS) as Funções Visuais (FV) são funções sensoriais relacionadas à percepção de luz, forma, tamanho, contorno e cor de um estímulo visual (World Health Organization, 2001).

### **3.3.1. Acuidade visual e excentricidade retiniana**

Apesar de classificadas distintamente e de atuarem de diferentes formas, AV e CV estão intrinsicamente relacionados. Ao CV, diz-se da extensão do espaço que é percebida ao fixar-se um ponto adiante. Dessa forma, o campo visual binocular pode ser dividido em 3 diferentes regiões segundo a acuidade visual: 1. Fóvea, região compreendida pelos 2° centrais ao fixar um ponto em frente, 2. Parafóvea, região compreendida entre 2° a 5° (para cada lado da fixação), e 3. Periferia, toda região além da parafóvea (Keith Rayner, 1998).

Em ciências visuais o termo “acuidade visual” se refere à habilidade do sistema visual em detalhadamente identificar, resolver e processar informações visuais (e.g., letras, números, imagens) em alta resolução. Portanto, a avaliação da AV é usada para definir a melhor correção para os diversos problemas refrativos. Por exemplo, processos de triagem (e.g., programas de prevenção à cegueira, World Health Organization, 2018) são adotados para identificar pessoas com problemas visuais, monitorar a progressão ou regressão de uma doença durante o seu tratamento e estimar a habilidade individual de desempenhar certas atividades (por exemplo, avaliação da AV se faz necessária no processo de obtenção de carteira de habilitação, Universale & Committee, 1984).

Mais precisamente, a AV representa o inverso do limiar do ângulo visual (medido em minutos de arco), ou seja, a menor distância angular entre dois pontos que podem ser vistos como separados (Messias, Jorge, & Cruz, 2010). Por definição, a AV é a medida do inverso do ângulo visual ( $\alpha$ ) com que a pessoa discrimina partes de um objeto (optotipo), ou seja, o mínimo ângulo de resolução (MAR), e, portanto,  $AV=1/\alpha$ . A unidade de medida de ângulo no Sistema Internacional de Unidades (SI) é o grau ( $^{\circ}$ ), sendo o minuto ( $'$ ) um seu submúltiplo ( $1^{\circ}=60'$ ). Como a magnitude do ângulo visual é na ordem de minutos de arco, pode-se dizer que a medida da AV é recíproca ao minuto de arco (Bicas, 2002). Arbitrariamente, o ângulo visual de  $1'$  (lê-se: um minuto de arco) foi determinado como a AV padrão, mesmo não sendo o menor ângulo de resolução do olho humano (o menor

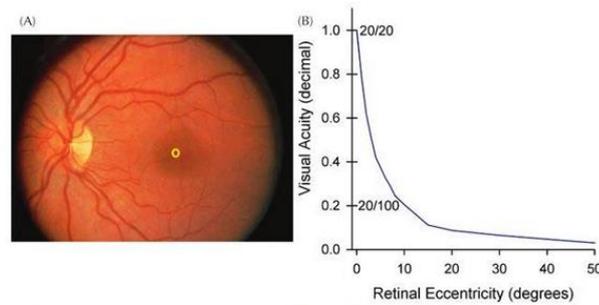
ângulo é estimado teoricamente em  $0.75'$  para uma pupila de 4.0mm de diâmetro, Schwiegerling, 2000). Apesar de ser a medida da função visual mais comumente na prática oftalmológica, a AV é muitas vezes interpretada erroneamente (Messias et al., 2010), principalmente devido às inúmeras tabelas e diferentes sistemas de notações (Holladay, 2004).

Atualmente, as principais notações utilizadas são: a decimal, a fração de Snellen, a frequência espacial e o logaritmo do mínimo ângulo de resolução (Messias et al., 2010). A notação decimal é obtida ao utilizar o inverso do ângulo visual ( $\alpha$ ). Por exemplo, quando a AV (em unidade decimal) é igual a 0.2, então  $\alpha=1/0.2= 5'$  (lê-se cinco minutos de arco). A fração de Snellen exprime a mesma relação da notação decimal por meio de uma fração cujos termos estão em “pés” (utilizada nos Estados Unidos) ou em metros (unidade de medida de comprimento segundo o Sistema Internacional de Unidades). Originalmente, o numerador representava a distância entre o paciente e a tabela para medida da AV, enquanto o denominador a distância em que o teste resultaria  $1'$  de arco de ângulo visual. No entanto, muitas vezes, a notação de Snellen é utilizada de forma arbitrária, para qualquer distância de medida (por exemplo, muitas vezes a avaliação da AV é feita a 4m, no entanto, continua-se usando a notação 20/70, sendo 20 pés = 6m e não 4m). No caso do exemplo exposto, o uso da notação em Snellen está completamente errada, o ângulo visual medido é verdadeiro, no entanto sua representação está equivocada. De forma a facilitar a compreensão e usar apropriadamente os conceitos expostos, a AV será sempre representada nesse trabalho na notação logMAR, e a distância da avaliação será descrita ao decorrer do trabalho.

Adicionalmente, é importante salientar que a AV não é a mesma ao longo de toda retina, sendo sua melhor medida quando a imagem do objeto é localizada na fóvea, onde a densidade de fotorreceptores é maior. Sendo assim, conforme o aumento da excentricidade em relação à fóvea, menor a densidade de fotorreceptores, o que implica na piora da AV. Essa queda da AV é abrupta, por exemplo, a uma distância de  $2^\circ$  em relação ao centro da retina, a AV diminui por volta de 50%. A relação entre a AV e a excentricidade retiniana pode ser observada na Figura 8.

O fato da AV não ser a mesma ao longo de todo o campo visual implica na movimentação sacádica dos olhos. Sacadas são movimentos oculares rápidos com objetivo de reposicionar a fóvea de forma que seja possível reconhecer um estímulo claramente. No

entanto, o tipo de estímulo presente na parafóvea e visão periférica influenciam se um movimento sacádico irá ocorrer ou não. Assim sendo, quando se é necessário identificar detalhes de um estímulo (e.g. a identificação de uma pessoa), a fóvea deve ser posicionada de acordo (e.g. rosto de uma pessoa, no caso da identificação pessoal). No entanto, para saber se um objeto está em movimento, apenas a percepção periférica já é suficiente para identificar essa informação (Rayner, 1998).



**Figura 8. Relação entre a AV e excentricidade retiniana.** (Levin et al., 2011a)

**Quadro 2. Diferentes notações para a representação da acuidade visual.**

MAR	LogMAR	Snellen	Decimal
10	1.0	20/200	0.10
8.00	0.9	20/160	0.13
6.30	0.8	20/125	0.16
5.00	0.7	20/100	0.20
4.00	0.6	20/80	0.25
3.20	0.5	20/63	0.32
2.50	0.4	20/50	0.40
2.00	0.3	20/40	0.50
1.60	0.2	20/32	0.63
1.25	0.1	20/25	0.80
1.00	0.0	20/20	1.00
0.80	-0.1	20/16	1.25
0.63	-0.2	20/12.5	1.60
0.50	-0.3	20/10	2.00

### 3.3.2. A extração parafoveal da informação

Se apenas a porção central da retina permite uma identificação precisa do estímulo, será que durante a leitura todas as palavras lidas são posicionadas na fóvea? Qual seria a contribuição de regiões mais periféricas da retina na leitura? Ao contrário do que parece acontecer, durante a leitura, nem todas as palavras são fixadas, ou seja, em uma leitura fluida não se faz necessário que todas as palavras sejam pontualmente fixadas. Sendo assim, regiões próximas à fóvea também desempenham um papel importante durante a leitura. Uma simples indicação de que leitores processam informação parafoveal durante a leitura vem das descobertas de que determinadas palavras tem maior probabilidade de serem puladas (Brysbaert & Vitu, 1998). Essas palavras são provavelmente antecipadas devido ao contexto ou a sua curta extensão (O'Regan, 1979). Esse padrão indica que os leitores obtêm informação não apenas da palavra que está sendo fixada, mas também da palavra seguinte localizada parafovealmente.

Além disso, a informação parafoveal também influencia o quão longe os leitores movem seus olhos e onde os olhos irão aterrissar. Sendo assim, a amplitude da sacada é influenciada tanto pela extensão da palavra que está sendo fixada quanto pela extensão da palavra que está à direita da fixação (Keith Rayner, 1979, O'Regan, 1979). De forma semelhante, o local onde os olhos aterrissam na palavra é influenciado pela distância entre a posição de “saída/ decolagem” e a de “chegada/ aterrissagem”. Por exemplo, se o local de “aterrissagem” está muito distante, os olhos tendem a “aterrissar” próximo ao início da palavra que irá ser fixada (McConkie, Kerr, Reddix, & Zola, 1988 Rayner, Sereno, & Raney, 1996). A influência da aterrissagem em função da distância entre o ponto de saída e o de chegada do olhar acontece devido a fatores de baixa ordem do processamento cognitivo como a amplitude da extensão de palavras e o espaçamento entre letras e palavras.

No entanto, outros estudos (Underwood, Clews, & Everatt, 1990) reportaram que sacadas em direção às palavras localizadas parafovealmente apresentam um tempo maior de duração quando a informação para reconhecimento da palavra se localiza no final ao invés do início. Portanto, o processamento sobre o significado dessa palavra deverá ocorrer na parafovea, gerando um processamento de alta ordem. Todavia, esse resultado não foi replicado em outros experimentos (Rayner & Morris, 1992, Hyönä, 1995). Adicionalmente, investigou-se durante a leitura a influência de palavras localizadas parafovealmente na

duração da fixação ocular e no processamento da informação durante essa e a próxima fixação (Keith Rayner, 1998). Considerando os limites da AV e da janela perceptual que permite leitores obterem informação na parafovea, não é surpreendente o fato de que a informação seja obtida à direita da palavra que está sendo fixada. Especificamente, estudos da avaliação dessa janela perceptual demonstraram que a informação obtida parafovealmente durante a fixação de uma palavra  $n$  facilita o processamento da palavra  $n+1$ . Além disso, se a informação parafoveal não está disponível, a velocidade de leitura diminui (Rayner, Well, Pollatsek, & Bertera, 1982). Esse ganho no processamento da informação devido à informação extra disponível parafovealmente é chamado de “vantagem de visualização parafoveal”, em inglês, “*parafoveal preview benefit*”. Estudos (Inhoff & Rayner, 1986a,b) demonstraram que mais informação é extraída de palavras de alta frequência lexical do que de baixa frequência lexical, o que indica certo nível de processamento lexical parafoveal.

Apesar da evidência de que tanto as informações lexical e sublexical possam ser coletadas da parafovea, a informação semântica, ou seja, relacionada ao significado, não parece ser beneficiada por informação parafoveal. Ilustração desse fato é o trabalho de Rayner, Balota e Pollatsek (1986) em que quatro tipos de informações foram apresentadas parafovealmente através do “paradigma de fronteira”, em inglês, “*boundary paradigm*”. Nesse paradigma, uma palavra é usada como referência e outras palavras ortograficamente semelhante, semanticamente relacionada e/ou semanticamente não relacionadas, são apresentadas parafovealmente. Segundo esse estudo, a vantagem de visualização parafoveal só aconteceu na condição em que a palavra parafoveal era ortograficamente semelhante à palavra de referência. Em ambas outras condições (palavras semanticamente relacionadas e não relacionadas), não se observou vantagem de visualização parafoveal, indicando que a informação semântica não foi obtida a partir da parafovea.

### **3.3.3. Funções visuais de leitura**

Nas seções anteriores ficou evidente que diferentes funções visuais, como AV e CV, estão relacionadas com a percepção visual em diversas atividades, seja no reconhecimento de um objeto em movimento, de uma pessoa, ou até mesmo no reconhecimento de

palavras e suas implicações no desempenho da leitura. Diversas áreas, como oftalmologia, neurociências e psicologia (Crossland, Legge, & Dakin, 2008) tem interesse no estudo relacionado a leitura. Embora a compreensão seja uma das medidas mais utilizadas na avaliação do desempenho de leitura na área de educação, nas ciências visuais e neurociência, de um modo geral, a velocidade de leitura (VL) é a métrica mais utilizada uma vez que a VL é sensível a mudanças (e.g. alteração no tamanho da fonte, Mansfield, Legge, & Bane, 1996, ou no contraste do texto Legge, Parish, Luebker, & Wurm, 1990).

Uma avaliação da percepção visual relacionada à leitura requer não somente a avaliação dos aspectos anátomo-fisiológicos, e das funções visuais, mas requer também uma avaliação específica das Funções Visuais de Leitura (FVL), a saber: Velocidade de Leitura (VL), Máxima Velocidade de Leitura (MVL), Tamanho Crítico de Letra (TCL) e Acuidade de Leitura (AL). As medidas de MVL, TCL e ACL são medidas derivadas da VL, determinadas a partir da plotação da VL no eixo y de um gráfico e representado no eixo x o tamanho do estímulo apresentado (em logMAR). A metodologia utilizada para encontrar os perfis individuais de velocidade de leitura vs o tamanho do estímulo apresentado é baseado na metodologia proposta por Mansfield et al. (1996). Segundo essa metodologia de avaliação, a VL é medida para cada sentença (cada uma com um tamanho de estímulo - logMAR diferente) em palavras por minuto (ppm). Na sequência, os valores de VL são plotados no eixo y em função do tamanho do estímulo (eixo x). A curva gerada por esse gráfico é caracterizada por três valores: 1) a MVL, definida como a máxima velocidade de leitura dentre todas as frases, 2) o TCL, o menor tamanho angular de letra em que velocidade de leitura é máxima, e 3) a AL que representa o menor tamanho angular de letra que pode ser lido sem que haja erros significativos na leitura. A curva típica (Calabrèse, Owsley, McGwin, & Legge, 2016) que representa as FVL pode ser verificada na **Erro! Fonte d e referência não encontrada.**

Normalmente, a velocidade de leitura (VL) é estável ao longo de vários tamanhos de estímulo para um mesmo indivíduo. Conforme o tamanho do estímulo diminui, há um ponto que a VL começa a diminuir, ponto esse conhecido como Tamanho Crítico de Letra (TCL). A Acuidade de Leitura (AL) é atingida quando o sujeito lê o estímulo de menor tamanho angular possível sem cometer erros significantes. Segundo a literatura, o tamanho de letra correspondente ao TCL é normalmente, duas vezes maior do que a AL, uma diferença de 0.3 logMAR (Calabrèse et al., 2016). Sendo assim, a velocidade de leitura é utilizada como

uma métrica que permite a derivação de outras variáveis (apresentadas no parágrafo seguinte) que refletem como abordado anteriormente, tanto os aspectos visuais como os não - visuais (Virgili et al., 2004).

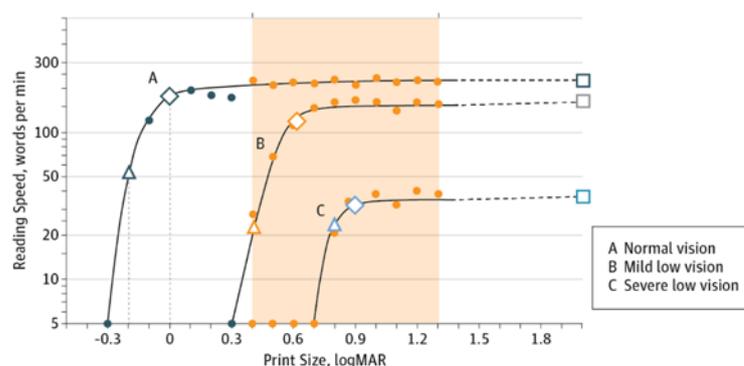
As bases descritas sobre as FVL foram desenvolvidas no laboratório de “Minnesota Laboratory for Low-Vision Research” (Legge, Ross, Luebker, & Lamay, 1989). Cada sentença contém 60 caracteres (incluindo os espaços entre cada palavra) dividida em três linhas. Apesar de originalmente essa tabela ter sido desenvolvida para o idioma inglês americano, adaptações com sucesso para diversas línguas (e.g. italiano, Virgili et al., 2004; grego, Mataftsi et al., 2013; francês e espanhol, Legge et al., 1993), incluindo o português brasileiro (PB, de Castro, Kallie, & Solamão, 2005), demonstra que a tabela provê medidas robustas na avaliação de crianças independentemente da idade escolar.

A avaliação das FVL tem sido consagrada na literatura científica como uma ferramenta para a prescrição de auxílios ópticos para pacientes com baixa visão (Scheiman, Scheiman, & Whittaker, 2007). Recomenda-se que a avaliação das FVL seja feita com uma tabela de leitura cujo nível linguístico não seja um impedor, e de forma que seu design possibilite a apresentação das sentenças em escala logarítmica decrescente. São essas características que atribuem à tabela MNREAD (Legge et al., 1989) a capacidade de avaliarem as FVL. A tabela MNREAD mede a VL em função do tamanho do estímulo em pessoas com visão normal ou baixa visão (Mansfield et al., 1996). É importante salientar que as FVL são acessadas a partir da avaliação da velocidade de leitura que no protocolo original apresentado para a MNREAD se dá pela leitura em voz alta. As sentenças lidas não tem relação entre si, ou seja, não apresentam um contexto e o tamanho de cada sentença diminui 0.1 logMAR. De acordo com o protocolo de teste da MNREAD (Legge et al., 1989), uma velocidade de leitura é computada para cada uma das sentenças, e ao fim, esses valores são plotados para cada um dos tamanhos de letra apresentados.

Em indivíduos normo-leitores a curva típica de velocidade de leitura vs tamanho de letra é semelhante à apresentada na Figura 9. Nos estudos americano de O’Brien, Mansfield, e Legge (2005) disléxicos e não-disléxicos demonstraram perfis similares na curva de velocidade de leitura vs tamanho de letra, o que implica, portanto, que a velocidade de leitura em disléxicos tem a mesma dependência qualitativa em relação à diminuição ou aumento no tamanho da fonte. No entanto, apesar da semelhança entre as curvas, duas características são diferentes: a velocidade de leitura é menor para o grupo disléxico; e, o

tamanho crítico de letra é maior para os disléxicos do que para o grupo controle. Esses resultados indicam que para uma mesma velocidade de leitura, disléxicos precisam de fontes de tamanho maior do que o grupo controle. Segundo esse estudo, alguns fatores foram apontados como causadores desse menor desempenho dos disléxicos. Dentre eles, a inacurácia na identificação da posição relativa da letra na palavra, o efeito de aglomeração (discutido em maiores detalhes na seção 3.5.4), a atenção visual e a janela perceptual. A inacurácia na identificação da posição relativa da letra na palavra estaria relacionada ao déficit magnocelular, uma vez que esse canal estaria relacionado à identificação da posição relativa (Stein, 2014). A redução da janela perceptual estaria relacionada à maior susceptibilidade dos disléxicos ao efeito de aglomeração (Yu, Legge, Wagoner, & Chung, 2014). Além disso, sabe-se que disléxicos apresentam a atenção visual alterada, no entanto, ainda não se tem certeza como a atenção visual implicaria na diferença dos efeitos do tamanho de letra em disléxicos. Uma hipótese seria a de que a atenção visual é o módulo cognitivo que media a função magnocelular e a identificação da posição relativa da letra na palavra. Alternativamente, outra teoria hipotética seria a de que a atenção visual estaria relacionada à identificação da janela perceptual durante a leitura.

Sendo assim, a importância da investigação das FVL se torna clara; é digno de atenção que materiais de leitura sejam avaliados, uma vez que o tamanho da fonte, impactará na velocidade de leitura, principalmente de indivíduos disléxicos. Fica claro que para que eles desempenhem uma velocidade de leitura semelhante à de um normo-leitor seja necessário aumentar o tamanho da fonte. Desse modo, a investigação do rastreamento ocular parece complementar os achados na investigação das FVL, uma vez que pode indicar outros fatores a serem considerados, como por exemplo o espaçamento entre as letras.



**Figura 9.** Curva típica representando as funções visuais de leitura (FVL) (Calabrèse et al., 2016).

### **3.3.4. Os movimentos oculares como indicadores “on-line” dos processos cognitivos**

Como visto anteriormente, tanto a fóvea quanto a parafovêa são utilizadas durante a leitura. Nem todas as palavras de um texto são fixadas ao serem lidas e uma vez que o posicionamento do olhar depende da movimentação ocular, parece, portanto, razoável afirmar que o estudo da movimentação ocular pode refletir em tempo real os processos cognitivos durante a leitura. A movimentação ocular é uma manifestação comportamental inerente e uma parte natural do processo da leitura que permite sua análise em tempo real (Radach & Kennedy, 2004) e que pode proporcionar informações valiosas sobre dificuldades durante a leitura (Keith Rayner, 1998). Nesse sentido, o “*Eyetracker*”, em português, “rastreador ocular” é uma ferramenta que permite a avaliação em tempo real dos processos cognitivos durante a leitura (Krieber et al., 2016).

A movimentação ocular é de extrema importância para a percepção do universo exterior ao indivíduo. Se por um lado, é possível escolher o quê e quando olhar, graças à capacidade do sistema oculomotor de realizar movimentos voluntários. Por outro, a rápida movimentação de um objeto estimula a região periférica retiniana e por conseguinte, aciona o sistema atencional automático de um indivíduo, causando assim um movimento ocular rápido de procura do objeto que despertou a atenção. Adicionalmente, movimentos involuntários discretos também acontecem constantemente para que não haja o esvaecimento da imagem fixada. Assim sendo, os olhos nunca estão totalmente parados, e o sistema oculomotor está sempre pronto para proteger e avisar o sujeito sobre estímulos externos a ele ou para atender às suas próprias necessidades. Essa seção visa apresentar a variedade de movimentos oculares que existem para atender as diversas necessidades do dia a dia sem que informações se percam, destacando-se principalmente a movimentação ocular relacionada à leitura.

Motivados pelo fato de que os movimentos oculares poderiam ser comandados por sistemas de regulação independentes, psicofisiologistas os classificaram de duas diferentes formas: os movimentos ditos “dissociados”, ou seja, em que os olhos se movem independentemente do outro (movimentos ditos involuntários durante a fixação), e os movimentos ditos “conjugados”, ou seja, em que a movimentação dos olhos acontece ou

de forma paralela, ou de forma simétrica. Dos movimentos ditos conjugados simétricos, pode-se classificar a convergência, movimento esse que permite a composição de um campo binocular a partir do campo visual de cada olho. Dentre os movimentos conjugados paralelos, que são comandados para os dois olhos por um mecanismo comum, dois modelos podem ser diferenciados: o sistema de perseguição lenta, que permite que um objeto de interesse seja mantido no centro do campo visual binocular. Por outro lado, o sistema rápido de controle tem como objetivo tirar o olhar de um objeto de interesse e posicioná-lo sobre outro. Para isso, os olhos fazem um movimento sacádico.

O movimento sacádico permite a mudança abrupta de um ponto de fixação para outro objeto. Ele é rápido, eficaz (permite alcançar o objeto de interesse) e tem a capacidade de parar abruptamente (Ramat, Leigh, Zee, & Optican, 2006). As sacadas são movimentos oculares rápidos, com velocidade de aproximadamente 500°/s. Durante esse movimento a sensibilidade à informação visual é reduzida, fenômeno esse conhecido como “supressão sacádica”, ou seja, nenhuma informação visual é recuperada durante o movimento sacádico. Interessantemente, esse fenômeno evita que uma imagem borrada seja percebida durante as sacadas. A duração desse movimento depende não somente do tipo de estímulo apresentado, mas também da distância requerida. Por exemplo, para percorrer uma distância de 2° de amplitude os olhos levam em média, 30ms de um ponto a outro, enquanto que 5°, de 40 a 50ms (Keith Rayner, 1998). O padrão de movimentação ocular é influenciado pelo tipo de tarefa desempenhada, conforme demonstrado no Quadro 3. Ele tem ainda como característica a capacidade de mudança de amplitude, ou seja, compreende desde movimentos menos extensos, como aqueles que acontecem durante a leitura, até movimentos mais extensos que são realizados ao se procurar um objeto dentro de um quarto. As sacadas podem acontecer tanto voluntariamente quanto involuntariamente e são conhecidas como um movimento balístico, pois o sistema gerador de sacadas não pode responder à mudanças subseqüentes na posição do alvo durante o período em que a movimentação ocular está ocorrendo. Ou seja, se o alvo mudar novamente a posição durante o período em que os olhos também estão se movendo (por volta de 15ms a 100ms), as sacadas perderão o seu alvo, e um segundo movimento sacádico terá de ser feito para corrigir o erro de posição final causado pela segunda movimentação do alvo (Purves, Augustine, Fitzpatrick, et al., 2001). De forma geral, o movimento sacádico se dá da seguinte forma: imagine que um objeto que está sendo fixado

começa a se mover. A partir desse instante, os olhos demoram cerca de 200ms para iniciar sua movimentação. Durante o intervalo de tempo em que o objeto se move até o momento em que os olhos começam a se mexer, a posição desse objeto em relação à fóvea é calculado (ou seja, o quão distante o objeto se move). A diferença entre a posição inicial dos olhos em relação à posição final pretendida é convertida em um comando motor que ativa os MEO para moverem os olhos na distância correta e no local apropriado.

Os movimentos de perseguição lenta são – como o próprio nome os descreve - movimentos lentos, de perseguição, que tem como objetivo a manutenção do estímulo sempre localizado na fóvea. Esses movimentos estão sob controle voluntário do indivíduo, uma vez que cabe ao observador a escolha de continuar ou não o acompanhamento do estímulo. Curiosamente, apenas observadores treinados conseguem realizar o movimento de perseguição lenta na ausência de um alvo para se seguir, do contrário, acabam realizando quase sempre um movimento sacádico (Purves, Augustine, Fitzpatrick, et al., 2001).

Os movimentos vergenciais alinham a fóvea de cada um dos olhos com alvos localizados a diferentes distâncias do observador. Ao contrário de outros tipos de movimentos em que ambos os olhos se movem na mesma direção e sentido (movimento conjugado dos olhos), os movimentos vergenciais são desconjugados ou divergentes. Ou seja, acontecem na mesma direção, mas em sentidos opostos, abrangendo, assim, a convergência ou a divergência dos olhos durante a observação de objetos que se aproximam ou se afastam, respectivamente. Um reflexo associado ao movimento vergencial é a “tríade do reflexo para perto” em inglês, “*near reflex triad*”, que compreende a acomodação do cristalino (possibilita a mudança de posição do foco), a constrição pupilar (permite o aumento ou a diminuição de profundidade do foco) e a convergência ou divergência dos olhos resultando no posicionamento da imagem na retina (Purves, Augustine, Fitzpatrick, et al., 2001).

Os movimentos óculo-vestibulares estabilizam os olhos em relação ao mundo exterior, compensando assim os movimentos de cabeça. O sistema vestibular detecta rapidamente mudanças na posição de cabeça e produz rápidos movimentos de correção. A informação sensorial nos canais semicirculares direciona a movimentação dos olhos em direção oposta à do movimento de cabeça. Esse reflexo impede por exemplo, que imagens visuais mudem de posição em função da variação da posição de cabeça, por exemplo, “de

cabeça para baixo”. A ação vestibulo-ocular pode ser testada ao se fixar um objeto e mover a cabeça de um lado para o outro. O objeto não se movimenta, e isso só é possível pois os olhos compensam automaticamente a movimentação da cabeça. A movimentação ocular se dá na mesma distância e direção, mas em sentido oposto ao da movimentação da cabeça, mantendo assim a imagem do objeto mais ou menos no mesmo local retiniano. Apesar de sua eficiência para contrabalancear a rápida movimentação de cabeça, o sistema vestibular é relativamente insensível a movimentos lentos ou à rotação persistente de cabeça (Purves, Augustine, Fitzpatrick, et al., 2001).

Embora todos os movimentos oculares sejam fundamentais para a percepção do mundo ao redor, durante a leitura, os movimentos mais estudados são os sacádico e de fixação. Apesar do termo “fixação” ser utilizado para descrever o momento em que os olhos se mantêm parados ao olhar para um dado alvo, como dito anteriormente, os olhos nunca estão parados. Existe um tremor constante, movimento esse conhecido como “nistagmo” que mantém a atividade perceptual ativa, e as células nervosas da retina continuamente disparando impulsos nervosos.

**Quadro 3. Diferenças na duração média de fixação e amplitude média de sacada para diferentes tarefas. Adaptado de (Keith Rayner, 1998).**

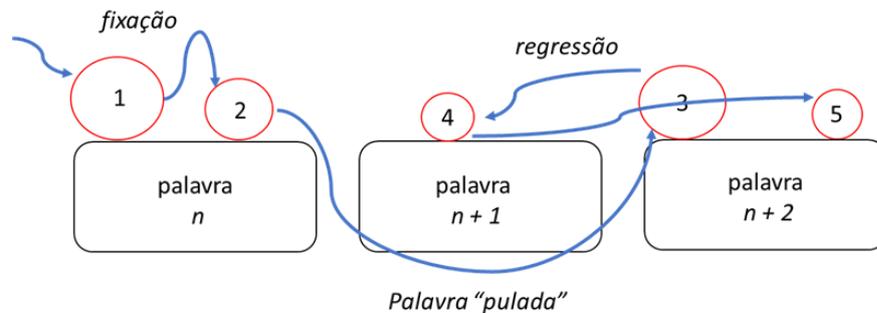
Tarefa	Duração média da fixação (ms)	Amplitude média da sacada (°)
Leitura silenciosa	225	2 (aprox.8 letras)
Leitura em voz alta	275	1.5 (aprox.. 6 letras)
Percepção de uma cena	330	4

### 3.3.5. A movimentação ocular e leitura

Como apresentado anteriormente, os movimentos oculares são diversos, bem como os fatores que podem influenciar e modificar o padrão de rastreamento ocular durante a leitura. Um dos fatores mais importantes é a leitura em voz alta ou silenciosa (Quadro 3). Durante a leitura silenciosa, os olhos tendem a ir à frente da voz, e conseqüentemente, mais fixações são realizadas de forma a não se afastar da voz (Lévy-Schoen, 1981).

A análise padrão da movimentação ocular durante a leitura compreende a identificação de uma série de fixações e sacadas (uma visão esquemática da

movimentação ocular durante a leitura pode ser vista Figura 10). Durante cada fixação o sujeito adquire a informação visual que será processada. Em seguida, ele realiza o movimento sacádico para realocar o ponto de fixação em outro local do texto.



**Figura 10. Modelo esquemático representando a movimentação ocular durante a leitura. As fixações são representadas pelos círculos e a respectiva sequência pelos números. As sacadas são representadas pelas setas, que vão de uma palavra a outra. Adaptado de (Brandt-Kobele, 2014)**

Durante a leitura, a média de duração de uma fixação é de 250ms, mas há relatos de fixações entre 60 a 500ms. Na leitura de um texto em inglês, em aproximadamente 90% do tempo, os olhos se movem da esquerda para a direita, enquanto que 10% do tempo da direita para a esquerda (Keith, Rayner & Pollatsek, 1989). Geralmente as fixações estão posicionadas entre o início e o centro de uma palavra, região essa conhecida como “posição ótima do olhar” (POO), em inglês, “*optimal landing position*” (OLP) (O’Regan, 1990, 1981). Tanto a quantidade como o tempo de duração das fixações refletem a dificuldade enfrentada para o processamento da informação (Keith Rayner, 1975a), quanto mais difícil é a tarefa de leitura, maior a quantidade e a duração das fixações. Além disso, os movimentos de regressão refletem um erro na análise do texto lido, de forma a reler o texto e realizar uma análise correta dele (Just & Carpenter, 1980). Essas decisões sobre “onde” e “quando” realizar uma fixação são componentes-chave que orientam a movimentação ocular. A compreensão da relação entre os componentes-chave (“onde” e “quando”) é necessária para que se entenda completamente os processos cognitivos que repercutem no rastreamento ocular.

A amplitude do movimento sacádico pode variar de 7 a 9 caracteres (Staub & Rayner, 1988), no entanto, ainda podem ser identificadas amplitudes de apenas 1 caractere, ou até mesmo do tamanho de uma sentença completa (por exemplo, o movimento de terminar a leitura de uma linha e iniciar uma próxima representa uma sacada de grande amplitude).

Outra característica do movimento sacádico é a de que leitores tendem a pular palavras funcionais, que normalmente são menos extensas e tendem a fixar palavras importantes para a compreensão que geralmente são mais longas (Staub & Rayner, 1988). A sequência em que o movimento sacádico ocorre durante a leitura também é objeto de interesse dos pesquisadores que lidam com leitura (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978). O tamanho e sequência das sacadas e a duração das fixações em lugares precisos do texto refletem as operações cognitivas durante a leitura (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978).

Além disso, sabe-se que existe um período de latência associado a execução do movimento sacádico, uma vez que sua execução requer tempo para seu planejamento e execução (Keith Rayner, 1998). Mesmo havendo incerteza sobre onde e quando movimentar os olhos, observa-se que a latência do movimento sacádico é de aproximadamente 150-175ms, sugerindo que a programação do movimento sacádico é realizada paralelamente ao processo de compreensão da leitura e que o aumento na latência sacádica implica no aumento da precisão para a localização do alvo.

Durante a leitura, duas decisões fundamentais devem ser tomadas: “onde” mover os olhos em seguida à uma fixação e “quando” realizar esse movimento. Essas decisões são tomadas separadamente, e são características distintas do texto que influenciam separadamente a movimentação ocular. De um lado, a decisão de “onde” mover os olhos é tomada à partir de informações que requerem um baixo nível de processamento cognitivo, como a separação entre palavras e a amplitude da palavra (Keith Rayner, Fischer, & Pollatsek, 1998). Por outro, a facilidade ou dificuldade no processamento da palavra influencia “quando” a movimentação deve ocorrer (Keith Rayner, 1998). De maneira geral, uma variável importante é o tamanho da palavra, pois quanto maior seu tamanho, maior será a probabilidade dessa palavra ser refixada antes da próxima sacada (Keith Rayner & Raney, 1996). Curiosamente, quando a amplitude de uma palavra é mantida constante, palavras de frequência lexical mais baixa são fixadas por mais tempo do que palavras de frequência lexical mais alta (Just & Carpenter, 1980, Keith Rayner & Fischer, 1996). Sendo assim, uma vez que os efeitos relacionados aos aspectos ortográficos da palavra influenciam o rastreamento ocular, aborda-se a seguir, a arquitetura funcional da leitura.

### 3. B) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA II – A ARQUITETURA FUNCIONAL DA LEITURA

#### 3.4. Teorias relacionadas à leitura

A leitura requer um domínio coordenado de diversos processos perceptuais e cognitivos, incluindo processamento dito de “baixo-nível”, responsável pela percepção de formas e extensão de palavras, processamento fonológico e controle oculomotor, e processamento linguístico de “alto-nível” necessário para a compreensão do significado de palavra e texto escritos. Se, por um lado, esses diferentes níveis de processamento estão interligados, por outro, é necessário estudá-los individualmente de forma a entender como cada um colabora com a leitura. É por isso que os modelos computacionais descrevem, separadamente, esses diferentes níveis de processamento. Sendo assim, é possível dividir os diferentes modelos em quatro grandes domínios (Norris, 2013): 1. modelos de reconhecimento visual da palavra, nos quais são abordados os processos de reconhecimento de letras e a influência da frequência lexical das palavras; 2. Os modelos de leitura em voz alta, que descrevem como o processo de leitura são construídos, desde o reconhecimento visual até a vocalização da palavra (detalhados na seção 3); 3. Os modelos de movimentação ocular durante a leitura, que visam explicar como o padrão ocular influencia e é influenciado pelas características textuais detalhados na seção 3.6); e por fim, 4. o modelo de morfologia, cujo objetivo é descrever como a morfologia das palavras, prefixos, sufixos e suas inflexões ou derivações influenciam a leitura. Um panorama geral dos diferentes modelos, suas aplicações e referências podem ser visualizados no Quadro 4.

**Quadro 4. Modelos computacionais de leitura. Adaptado de Norris (2013). Abreviações: MAT/COMP, matemático ou computacional; DL, decisão lexical; IP, identificação perceptual; IA, inteligência artificial, LVA, leitura em voz alta; LN, leitura natural.**

Modelo	Estilo	Tarefa	Fenômeno estudado
<b>Modelos de reconhecimento de palavras</b>			
Modelo de difusão	MAT/COMP	DL	frequência lexical
SERIOIOL	MAT/COMP	DL, “ <i>priming</i> ” mascarado	ordem das palavras

Overlap	MAT/COMP	IP	ordem das palavras
LTRS	MAT/COMP	<i>"priming"</i> mascarado	ordem das palavras
BR	MAT/COMP	DL, <i>"priming"</i> mascarado	frequência lexical, ordem das palavras
SCM	IA	DL	ordem das palavras
<i>"multiple read out"</i>	IA	IP, DL	efeito da palavra no processamento de alto nível
IA	IA	IP	efeito da palavra no processamento de alto nível
<b>Modelos de leitura em voz alta</b>			
CDP++	simbólico	LVA	leitura em voz alta
DRC	IA	LVA, DL	leitura em voz alta
Triângulo	conexionista	LVA	leitura em voz alta
<i>"Sequence encoder"</i>	conexionista	LVA	leitura em voz alta
<i>"Junction model"</i>	conexionista	LVA	leitura em voz alta
<b>Modelos de controle da movimentação ocular durante a leitura</b>			
<i>"E-Z reader"</i>	simbólico	LN	movimentação ocular
SWIFT	simbólico	LN	movimentação ocular
<b>Modelo morfológico</b>			
<i>"Amorphous discriminative learning"</i>	simbólico	DL	morfologia

### 3.4.1. Modelos de arquitetura funcional da leitura

Os processos mentais que permitem ao leitor identificar, compreender e pronunciar palavras escritas são explicados por meio de modelos que enfatizam a estrutura cognitiva envolvida no reconhecimento de palavras e as interconexões dessa estrutura (Salles & Parente, 2002). Sendo assim, a leitura em voz alta de um sistema de escrita alfabético pode ocorrer, pelo menos, de duas maneiras: por meio de um processo visual direto (rota lexical) ou através de um processo envolvendo mediação fonológica (rota fonológica). Ambas rotas de leitura tem início com o sistema de análise visual, cujas funções são identificar as letras do alfabeto, a posição de cada letra na palavra, e agrupá-las.

A rota fonológica utiliza o processo de conversão grafema-fonema, envolvendo a procura de pronúncias para palavras não-familiares e pseudopalavras (formadas por uma

combinação de fonemas ou grafemas que não existem no léxico de uma língua) de forma serial, traduzindo letras ou grupos de letras em fonemas a partir da aplicação de regras. As representações fonêmicas armazenadas ativam as formas fonológicas das palavras, que por sua vez, levam à ativação das representações semânticas e ortográficas correspondentes. O fonema é o menor elemento constitutivo da cadeia falada que permite distinções semânticas, enquanto o grafema é a referência gráfica de um fonema. O uso das regras de conversão grafema-fonema, ou seja, a transposição dos grafemas impressos nos seus respectivos fonemas deveria permitir uma pronúncia precisa das palavras que possuem correspondência grafia-som regular, mas não de palavras irregulares (conhecido como *efeito de regularidade*).

A leitura por rota fonológica também é afetada pelo número de letras contidas na palavra, o que é conhecido por *efeito de extensão*. Na leitura, palavras regulares são aquelas cuja estrutura ortográfica possibilita uma leitura por meio da conversão grafema-fonema unívoca, ou seja, regida por regras. As palavras irregulares, ao contrário, possuem relações grafo-fonêmicas ambíguas. No português, estas ambiguidades encontram-se apenas diante de um grafema consonantal (<X>) e de dois vocálicos (<e> e <o>), estes últimos quando estão em posição paroxítona tônica. A consoante <X> pode ser associada, independentemente da posição, aos fonemas /j/, /s/, /ks/ ou /z/. A vogal <e> pode ser associada aos fonemas /ɛ/ ou /e/, como, por exemplo, nas palavras <festa> e <vespa>, enquanto a vogal <o> pode ser associada aos fonemas /ɔ/ ou /o/, como nos exemplos <bosque> e <fosco> (Salles & Parente, 2002).

Na leitura pela rota lexical, geralmente utilizada pelos leitores adultos, as representações de milhares de palavras familiares são armazenadas em um léxico de entrada visual, que é ativado pela apresentação visual de uma palavra. Isto é seguido pela obtenção do significado a partir do sistema semântico (depósito de todo o conhecimento sobre os significados de palavras familiares) e, então, a palavra pode ser articulada. Pessoas que utilizam apenas essa rota têm pouca ou nenhuma dificuldade em pronunciar palavras familiares, entretanto, encontram muita dificuldade com palavras relativamente não-familiares e pseudopalavras. Através da rota lexical, palavras de alta frequência de ocorrência no idioma são reconhecidas com maior rapidez e precisão do que palavras de baixa frequência, o que é conhecido como *efeito de frequência*. A presença de um *efeito de lexicalidade*, ou seja, palavras reais sendo identificadas mais rápida e precisamente do que

pseudopalavras, é outro indicio de leitura por rota lexical. As palavras, quando familiares, têm unidade de reconhecimento no léxico de entrada visual, o que não ocorre com pseudopalavras (Salles & Parente, 2002).

Considerando o Modelo de Leitura de Dupla-Rota, em inglês *“dual-route cascade”*, leitores que usam preferencialmente a rota lexical tem maior facilidade na leitura de palavras irregulares do que na leitura de pseudopalavras, enquanto que leitores que usam preferencialmente a rota fonológica tem maior facilidade na leitura de palavras regulares e pseudopalavras do que na leitura de palavras irregulares (Quadro 5). Para o leitor hábil, as duas rotas estão disponíveis e podem intervir paralelamente na leitura de palavras, sendo que tanto as características linguísticas do estímulo como o nível de competência do leitor determinam o tipo de processo usado (Pinheiro & Parente, 1999). Pinheiro (1994), ao estudar as habilidades de leitura e escrita de crianças brasileiras de 1ª a 4ª série, constatou o uso de processos lexicais e predominantemente, fonológicos, em estágios iniciais do desenvolvimento de leitura.

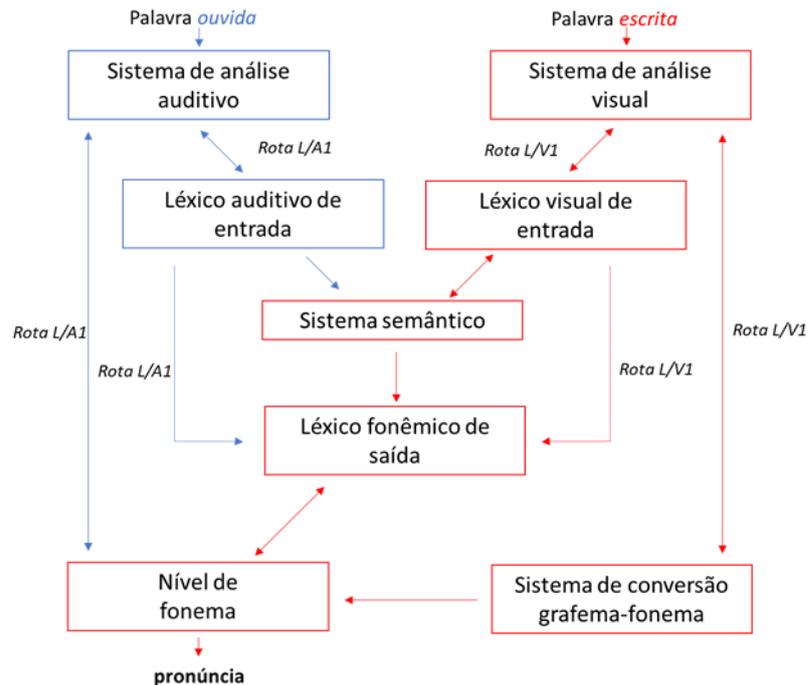
**Quadro 5. Rotas lexical e fonológica e suas respectivas funções na leitura de palavras regulares, irregulares e pseudopalavras.**

<b>Leitura</b>	<b>Rota Lexical</b>	<b>Rota Fonológica</b>
Facilidade	Palavras irregulares	Palavras regulares e pseudopalavras
Dificuldade	Pseudopalavras	Irregulares

No desenvolvimento normal, o processo de reconhecimento da palavra começa com a representação fonológica da palavra em que a palavra é visualmente representada, distinguindo diferentes sílabas e sons. Após representação fonológica, uma representação semântica da palavra é formada, ou seja, identifica-se qual o significado dessa palavra (Goswami, 2000). No caso dos leitores disléxicos, o processo de reconhecimento da palavra é diferente, uma vez que existe uma deficiência em apreender a correspondência grafema-fonema, e em distinguir entre si diversas sílabas e sons (Berckmoes, 2014). O desenvolvimento da consciência fonológica é indispensável para o sucesso no aprendizado da leitura (Maionchi-Pino, 2008). O processamento fonológico contribui para a consciência fonológica que requer a manipulação das unidades fonológicas (sílabas, rimas e fonemas) de palavras verbalizadas. A consciência fonológica e, especialmente, a consciência

fonêmica são cruciais para a aquisição da leitura. Particularmente, a consciência fonêmica é necessária para a compreensão do princípio alfabético, que deve ser entendido antes da correspondência grafema-fonema ser usada para decodificar as palavras fonologicamente (Martin et al., 2010). A hipótese fonológica é a mais aceita para explicar a dislexia, postulando que a deficiência no desempenho de leitura é devido a uma deficiência cognitiva especificamente fonológica. Em particular, o déficit fonológico impede a aquisição devida do procedimento de leitura sublexical, uma vez que esse procedimento requer a habilidade de conectar as unidades escritas sublexicais (grafemas) às suas unidades faladas sublexicais (fonemas), posteriormente “montadas” através do processo de decodificação fonêmico. A primeira operação requer o perfeito estabelecimento das categorias fonêmicas, para que em seguida, ocorra acesso adequado à memória de curto-prazo fonológica. Uma criança que é incapaz de lidar com os fonemas e que também tem uma deficiência na memória de curto-prazo fonológica (acessada, por exemplo, pela repetição de pseudopalavras) terá muito pouca ou quase nenhuma habilidade de usar o procedimento de leitura sublexical, conseqüentemente afetando o desenvolvimento do procedimento lexical (Martin et al., 2010).

Uma das teorias desenvolvidas para explicar a leitura da escrita alfabética preconiza que ela pode ocorrer pelo menos de duas maneiras: por meio de um processo visual/lexical semântico ou por um processo envolvendo mediação fonológica – processo fonológico. De forma a ilustrar didaticamente a leitura, será utilizado o modelo apresentado em Pinheiro e Parente (1999). Nesse modelo, *os sistemas de análise visual*, o *sistema léxico visual de entrada* (um sistema de reconhecimento de palavras e início da via lexical) e o *sistema de conversão grafema-fonema* são os componentes específicos para a leitura. Esses sistemas consistem em procedimentos para a análise visual da escrita, reconhecimentos de palavras e de grafemas e de processos que transmitem a informação de nível visual para os processos centrais relacionados com significado, produção da fala ou síntese de fonemas. Assim, no diagrama representado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, as flechas representam o fluxo da informação de um sistema para o outro e as caixas (memórias de armazenamento) – são formadas de um estoque específico de informação que pode ser unidades sublexicais (letras, grafemas e sílabas) ou unidades lexicais (morfemas) (Pinheiro & Parente, 1999).



**Figura 11. Modelo esquemático do processamento de palavras ouvidas e escritas. a) processamento de palavras ouvidas: L/A1 - rota léxico-semântica auditiva, L/A2: ligação direta entre o léxico auditivo de entrada e o de saída e F1 - rota fonológica. b) processamento de palavras escritas: L/V1 - rota léxico-semântica visual, L/V2 ligação direta entre o léxico visual de entrada e o de saída e F2 – rota fonológica. Adaptado de (Â. Pinheiro & Alice Mattos Pimenta Parente, 1999)**

A rota que parte do estímulo impresso à fala pela via dos sistemas *léxico visual de entrada*, *semântico* e *léxico fonêmico de saída* (i.e. processo léxico-semântico -rota L/V1), é a rota frequentemente usada para o entendimento de uma palavra armazenada, para a recuperação do seu significado (realizada pelo *sistema semântico*) e de sua pronúncia (realizada *léxico fonêmico de saída* - sistema em que as formas faladas das palavras são arquivadas). Por outro lado, a leitura em voz alta pela rota fonológica (rota F2) depende da utilização do conhecimento das regras de conversão grafema-fonema para se construir a pronúncia de uma palavra real visualmente não-familiar ou de uma não-palavra (sequência de letras ortograficamente plausíveis e pronunciáveis, mas sem nenhum significado). No caso de palavras reais, o código fonológico construído é identificado pelo léxico fonêmico de saída e o significado da palavra (arquivado no sistema semântico) é liberado como se ela tivesse sido ouvida. A pronúncia de não-palavras que, por definição, não tem entradas nos sistemas de reconhecimento visual nem auditivo, acontece pela rota do sistema de conversão grafema-fonema até fonema (Pinheiro & Parente, 1999).

Outra interpretação para a arquitetura funcional da leitura é a de que a informação visual é processada, inicialmente, por uma memória que armazena as representações mentais das letras do alfabeto (registro alfabético de entrada) e que é comum aos processos lexical e fonológico. No processo lexical, a partir da detecção de apenas algumas letras, as informações literais são transferidas ao *léxico visual de entrada*, onde a palavra é processada, em sua origem visual, como uma única unidade lexical. A partir de então, as informações podem ser emparelhadas às suas correspondências fonológicas armazenadas em um *léxico fonêmico de saída*, ou então, informações do *léxico visual de entrada* podem ser transferidas ao de saída sem passar por identificação semântica (via lexical assemântica - rota L/V2, Pinheiro & Parente, 1999). O processo de leitura de qualquer estímulo em voz alta depende da análise do item (palavra real ou não-palavra) no sistema de análise visual. Na leitura de palavras reais, após serem reconhecidas no léxico visual de entrada, a pronúncia é recuperada do léxico fonêmico de saída (o que constitui a rota léxico-fonêmica). Esse processo de recuperação pode ser assistido por concomitante processamento semântico ou por concomitante conversão grafema-fonema. No caso das não-palavras, a identidade dos grafemas é transmitida do sistema de análise visual para o sistema de conversão grafema-fonema, onde os elementos fonêmicos podem ser recuperados e sintetizados (ou agrupados) para produzir a pronúncia (rota fonológica). Assim, a leitura de palavras é um teste da rota lexical e a de não-palavras, um teste do processo fonológico (Pinheiro & Neves, 2001).

### **3.4.2. Processamento serial ou paralelo?**

Como visto anteriormente na seção 3.3.2, uma simples indicação de que os leitores processam a informação parafoveal vem das descobertas de que algumas palavras podem ser puladas. A maioria das pesquisas que trabalham com o processamento parafoveal tem focado no fato de que a informação extraída parafovealmente diminui o tempo de fixação da palavra a ser subsequentemente fixada (McDonald, 2006, Rayner, 2009b). No entanto, poucos estudos tem investigado se a informação localizada na parafovea influencia o processamento da palavra fixada (i.e. se o processamento de duas ou mais palavras acontece ao mesmo tempo - processamento paralelo). Nesse sentido, os dois modelos de controle da movimentação ocular durante a leitura (abordados na seção 3.6) apresentam

duas possibilidades. O “*E-Z reader*” postula que a atenção durante a leitura muda sequencialmente, de palavra a palavra. Sendo assim, o “benefício de pré-visualização parafoveal” é obtido quando a atenção muda da palavra fixada para a próxima palavra no texto (Starr & Rayner, 2001). Assim, mesmo que os olhos continuem fixando uma palavra, a atenção muda para a palavra à direita da fixação e o processamento dessa palavra começa. Ao que concerne o modelo “SWIFT” esse processamento parafoveal é dito paralelo, acontecendo ao mesmo tempo em que ocorre o processamento da palavra fixada. Uma vez que o processamento pode não acontecer na ausência da atenção, os modelos atuais presumem que a informação à direita da fixação não tem efeito no processamento da palavra que está sendo fixada. Estudos como o de Carpenter e Just (1983) concluíram que a palavra à direita da fixação tem pequeno efeito no processamento da palavra fixada. De forma semelhante, outros experimentos mostraram que a frequência lexical da palavra à direita da fixação não tem efeito sobre a duração da fixação na palavra que está sendo fixada (Henderson & Ferreira, 1993), Keith Rayner et al., 1998).

### **3.4.3. Os modelos conexionistas e não-conexionistas de leitura**

Mecanismos de leitura tem recebido grande atenção por parte dos pesquisadores. Após o aparecimento dos primeiros modelos conexionistas nos anos 70, pesquisadores começaram a utilizar modelos computacionais para simular o comportamento de reconhecimento visual de palavras. Dessa forma, se inspiraram nas características puramente ortográficas e fonológicas de diversos idiomas para discernir o (Maionchi-Pino, 2008). No entanto, apesar da grande diversidade de modelos propostos para explicar a identificação de palavras, três modelos tem recebido maior atenção de pesquisadores: 1. O modelo de “processamento duplo”, em inglês, “*connectionist dual-process*” (Marco Zorzi, Houghton, & Butterworth, 1998), 2. o modelo de “dupla-rota em cascata”, em inglês “*dual-route cascaded -DRC*” (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001) e 3. O modelo de leitura “triangular”, em inglês “*triangle models*” (Seidenberg, McClelland, & Seidenberg, 1989, Plaut, McClelland, Seidenberg, & Patterson, 1996, Harm & Seidenberg, 1999, 2004). Apesar desses modelos serem geralmente referenciados como “modelos de leitura”, a nomenclatura mais coerente seria a de “modelos de leitura de palavras isoladas em voz

alta” uma vez que são aplicados à leitura de palavras isoladas, e portanto, não correspondem à um modelo de leitura propriamente dito (Rayner & Reichle, 2010).

A discussão de cada um desses modelos não é do escopo desse trabalho, no entanto, é imprescindível que haja uma discussão sobre características gerais e conceitos do modelamento do processo de leitura em voz alta. Tendo em vista a grande variedade de modelos existentes, recomenda-se a leitura de Ferrand (2001) e Seidenberg e Plaut (2006) para maiores detalhes. Em suma, os modelos de leitura em voz alta podem ser classificados como sendo modelos conexionistas ou não-conexionistas. Esses modelos diferem fundamentalmente em três aspectos: 1) natureza da representação, 2) natureza do processamento, e 3) aprendizado (Coltheart, 2006).

A *natureza de representação* pode ser *local* ou *distribuída*. A representação local, como ocorre nos modelos de dupla-rota, significa que uma palavra é representada localmente no sistema, ou seja, uma palavra corresponde a uma unidade única no léxico, tendo assim, apenas uma entrada no sistema. A ideia oposta é a de representação distribuída, utilizada nos modelos de leitura em voz alta, classificados como “conexionistas”. Nesse caso, qualquer palavra é representada pela ativação de várias unidades no sistema, e qualquer unidade no sistema tem alguma contribuição na representação de diferentes palavras.

A *natureza de processamento* pode ser *paralela* ou *serial*. Em todos os modelos conexionistas todos os processamentos acontecem em paralelo. Por exemplo, quando uma não-palavra é apresentada todas as letras são processadas ao mesmo tempo, ao passo que no modelo não-conexionista (como nos modelos de dupla-rota), o componente não-lexical realiza o processamento serial enquanto os demais realizam um processamento paralelo.

O *aprendizado* está relacionado ao conhecimento que cada modelo utiliza. Nos modelos conexionistas, o conhecimento é desenvolvido pelo próprio modelo, ao longo do tempo, conforme o sistema vai sendo exposto a novas palavras (sua escrita e pronúncia). Por outro lado, os modelos não-conexionistas (e.g. dupla-rota) usam o aprendizado proveniente de estudos empíricos para descreverem o processo de leitura.

De modo geral, o reconhecimento de palavras escritas respeita uma hierarquia de ativações, inicialmente ortográfica que processa tanto a identificação das letras quanto sua posição dentro da palavra, e em seguida, o processamento fonológico (Grainger, 2008).

Em todos os modelos de reconhecimento de palavras escritas, as letras constituem o nível inicial e básico para o prosseguimento de processamento posteriores e mais complexos. Assim, o processamento ortográfico só é possível graças a um processamento da posição da letra dentro da palavra, o que permite por exemplo, a distinção de duas palavras ortograficamente próximas (e.g., *percursor* e *precursor*), mas de diferentes significados. Apesar da noção de processamento da posição das letras ser a base da arquitetura dos modelos conexionistas (Coltheart et al., 2001, Harm & Seidenberg, 2001, Seidenberg et al., 1989) não há um acordo entre pesquisadores quanto à natureza do processamento ocorrer de forma paralela ou sequencial. Sendo assim, no modelo de “dupla rota em cascata” (DRC, Coltheart et al., 2001), a natureza do processamento assume uma abordagem segundo a tarefa de leitura: para palavras pouco frequentes e pseudopalavras o processamento é tratado como sequencial, da esquerda para a direita. Por outro lado, o processamento de palavras frequentes é considerado paralelo.

#### 3.4.3.1. Modelo de dupla-rota em cascata

O modelo de Dupla-Rota em Cascata (DRC) é uma versão computacional (Coltheart et al., 2001) do modelo de dupla rota. O DRC calcula a pronúncia a partir da escrita por meio de dois procedimentos, um lexical e um procedimento não-lexical (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). O procedimento lexical envolve acessar uma representação do léxico ortográfico de palavras reais, que por sua vez ativa o léxico fonológico e que, por conseguinte, ativa os fonemas da palavra, resultando na verbalização da palavra. As não-palavras não podem ser lidas corretamente por meio desse procedimento, pois não estão presentes no léxico ortográfico, no entanto, isso não significa que a rota lexical simplesmente não possa produzir nenhum resultado fonológico quando o estímulo for uma não-palavra. Por exemplo, uma não-palavra como “SARE” pode gerar ativação de entradas no léxico ortográfico para palavras visualmente semelhantes a ela, como “CARE”, “SORE” ou “SANE”, que pode ativar o léxico fonológico, e assim, atingir o sistema fonêmico. Essa ativação lexical não consegue gerar a pronúncia correta para uma não-palavra, mas existem evidências de que influencia a leitura em voz alta de não-palavras. Uma não-palavra que é semelhante a muitas entradas no léxico ortográfico será lida em voz alta com um tempo de reação menor do que uma não-palavra que é semelhante a poucas entradas

(para maiores detalhes sobre os procedimentos relacionados à rota lexical, veja Max Coltheart, 2013). O procedimento não-lexical do modelo DRC aplica regras de correspondência entre grafemas e fonemas à sequência de estímulos para converter letras em fonemas. Isso ocorre na sequência da esquerda para a direita, considerando inicialmente apenas a primeira letra da sequência, depois as duas primeiras letras, e assim por diante, até chegar na última letra do estímulo. Esse sistema converte não-palavras da forma escrita para a verbalizada, além de realizar essa conversão para palavras regulares (ou seja, que obedecem a suas regras de correspondência entre grafemas e fonemas). As palavras irregulares são “regularizadas” por esse sistema, no entanto, sua pronúncia considerará as regras de correspondência e portanto sua pronúncia estará incorreta (Coltheart, 2013).

Existem duas premissas principais nesse modelo. A primeira premissa propõe que a pronúncia da palavra pode ser gerada de duas formas, uma forma relacionada à correspondência grafema-fonema (e.g. processamento que permite a transformação de grafemas individuais - letras - em representações fonológicas correspondentes - fonemas) e outra forma através de um mapeamento direto das letras de uma palavra e sua respectiva pronúncia. A segunda premissa do modelo DRC está relacionada à natureza da representação lexical. Essa premissa pressupõe-se que ambas as formas ortográfica e fonológica das palavras são representadas aleatoriamente como unidades discretas do léxico. Dessa forma, palavras conhecidas podem ser pronunciadas ao mapear os grafemas das palavras em uma unidade ortográfica que proporciona uma melhor representação, e então, utilizar essa unidade ortográfica para acionar diretamente a unidade fonológica correspondente à pronúncia da palavra. Portanto, o modelo DRC pertence a uma classe de Modelos de Dupla-Rota em que a pronúncia da palavra pode ser gerada tanto usando regras linguísticas específicas que definem como grafemas individuais se combinam para gerar uma pronúncia, ou a partir de uma forma mais direta, em que a pronúncia completa da palavra é retirada diretamente do léxico (Rayner & Reichle, 2010).

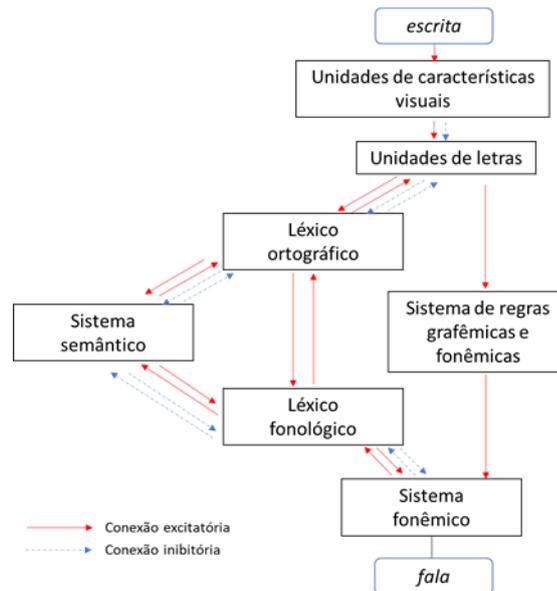


Figura 12. O modelo de Dupla-Rota em Cascata (DRC, adaptado de Coltheart, 2013)

### 3.4.4. Regularidade ortográfica

Se o processamento das palavras pode acontecer através da correspondência grafema-fonema, parece razoável afirmar que essa correspondência influencia a aprendizagem de leitura e, portanto, afeta o grau de dificuldade de leitura (Seymour, Aro, & Erskine, 2003). A regularidade ortográfica refere-se exatamente à regularidade, ou seja, à transparência em que essa correspondência entre grafema e fonema são feitos. Idiomas mais opacos, ou “menos transparentes”, são aqueles em que um grafema pode ser representado por mais de um fonema. De maneira oposta, idiomas menos opacos ou “mais transparente” são aqueles em que a correspondência grafema-fonema é unívoca.

#### 3.4.4.1. O português brasileiro e o francês

O português é uma língua românica, um idioma sintético<sup>2</sup> estabelecido no século XII na Península Ibérica, no reino da Galícia e expandido durante o século XV para a África, Ásia e América do Sul através das colonizações realizadas na época. O português é o

<sup>2</sup> Idioma sintético refere-se a um idioma que tem algum grau de inflexão, ou seja, que permite a modificação de uma palavra para expressar diferentes categorias gramaticais, como número e gênero.

terceiro idioma mais falado na Europa e no Ocidente e o idioma mais falado na América do Sul e no Hemisfério Sul (Castilho, 2006). O português brasileiro (PB) é falado por mais de 100 milhões de falantes nativos e tem diversas diferenças em relação ao português europeu (PE), seja em relação à sintaxe: PB “estou escrevendo”, PE “estou a escrever”; à ortografia: PB “ação, asilo”, PE: “acção, asylo”; à fonologia: PB “menino /me'nino/”, PE “menino /'mnino/”; à semântica: PB “açougue”, PE “talho”; à frequência: a frequência das palavras no Brasil são diferentes em Portugal. Além disso, o PB foi influenciado por diversos idiomas indígenas, e diversas palavras recebem sua influência, por exemplo: abacaxi, gambá, pipoca. São essas diferenças em relação ao PE, bem como a dimensão do uso do PB, que incentivaram estudos como o de Estivalet e Meunier (2015) para o desenvolvimento de um instrumento psicolinguístico exclusivo para o PB (similar aos já existente para o francês New, Pallier, Brysbaert, & Ferrand, 2004).

No entanto, poucos estudos foram realizados para PB, apesar da diferença significativa em relação ao PE. Letras que são mudas no PE falado são geralmente omitidas no PB e acentuações específicas são usadas para acabar com a ambiguidade e favorecer pronúncias alternativas. Sendo assim, o PB é mais transparente do que o PE, pelo menos no que concerne à leitura (Cardoso-Martins, 2006). Assim, a maior parte das palavras podem ser lidas através da rota fonológica, e a fluência no idioma pode indicar a habilidade do leitor de fazer a correspondência grafema-fonema (Pinheiro, Rezende, & Lúcio, 2008). No PB, a leitura fonológica predomina em leitores iniciantes até o terceiro ano. Com o avanço da idade, o desempenho de leitura começa a gradualmente depender do conhecimento lexical (i.e. vocabulário, Oliveira & Capellini, 2010, Mota et al., 2012). O acesso à rota lexical é importante uma vez que alguns grafemas podem representar diferentes fonemas e algumas correspondências aparecem raramente no idioma. Por exemplo: o “x” pode ser pronunciado como /ʃ/ ou /z/ e são usadas apenas em palavras irregulares. Seymour et al. (2003) propôs uma classificação dos idiomas europeus de acordo com sua transparência. Nessa classificação o português foi considerado mais transparente do que o francês e o inglês, no entanto, mais opaco do que o italiano, espanhol ou alemão.

No francês, a construção silábica fica evidente em diversas representações, seja visual, auditiva ou na produção escrita. O fenômeno mais interessante é de que a sílaba aparece como sendo um recurso utilizado precocemente, desde os primeiros anos de

alfabetização, sendo a sílaba uma representação da leitura. No entanto, o uso da sílaba é limitado por vários aspectos: de um lado, o nível de leitura é determinante para o acesso às unidades maiores (por exemplo, crianças boas leitoras usam mais facilmente a sílaba) e por outro lado a complexidade silábica interfere na capacidade de crianças jovens leitoras de processar as sílabas (por exemplo, estruturas “consoante-vogal” - CV - são mais facilmente processadas do que estruturas complexas como “consoante-consoante-vogal” - CCV - ou “consoante-vogal-consoante” - CVC). A sílaba se torna importante na leitura a partir do momento em que há um certo conhecimento e autonomia em relação à leitura, ou seja, à partir do momento em que a criança é capaz de passar de um processamento grafo-fonêmico para um processamento grafo-silábico (Maïonchi-Pino, 2008).

#### **3.4.4.2. Regularidade ortográfica e dislexia**

Entre os diferentes idiomas, tanto a aquisição da leitura quanto as manifestações da dislexia do desenvolvimento diferem entre si devido à diferença na transparência (i.e. regularidade ortográfica, Germano, Reilhac, Capellini, & Valdois, 2014). Se na dislexia fonológica existe uma deficiência em apreender a correspondência grafema-fonema (sendo que o nível de transparência representa exatamente a relação entre esses dois elementos), é quase intuitivo inferir que em idiomas menos transparente, maior será a dificuldade no aprendizado de leitura por indivíduos disléxicos (Berckmoes, 2014). Leitores disléxicos de idiomas mais opacos tem uma dificuldade de leitura mais pronunciada do que aqueles que utilizam idiomas mais transparentes (Landerl, 1997). De uma forma geral, disléxicos leitores de idiomas mais transparentes, como o espanhol (Serrano & Defior, 2008) e o italiano, apresentam baixa velocidade de leitura, enquanto disléxicos leitores de idiomas mais opacos, como o francês e o inglês (Spencer, 2010), além da baixa velocidade de leitura, também apresentam uma baixa acurácia. Poucos estudos exploraram as manifestações da dislexia relacionadas ao português. Sucena, Castro, e Seymour, (2009) investigaram o desempenho de leitura de crianças disléxicas para o português europeu (PE), e os resultados indicam que essas crianças apresentam menor velocidade de leitura e acurácia reduzida quando comparadas a um grupo normo-leitor. Os resultados desse estudo corroboram os resultados de Ávila, Kida, Carvalho, e Paolucci (2009) que também

observaram menor velocidade de leitura e acurácia reduzida em um grupo de disléxicos durante a leitura do PB.

Estudos revelaram que não apenas a acurácia e a velocidade de leitura são influenciadas pelo grau de transparência do idioma (Krieber et al., 2016). Krieber et al., (2016) reportaram que as características temporais e espaciais da movimentação ocular variaram segundo a regularidade ortográfica. Portanto, se faz necessário avaliar achados relacionados ao comportamento de leitura (e.g. velocidade de leitura, acurácia ou movimentação ocular) e considerar com parcimônia esses resultados em futuros estudos. Além disso, é indispensável que a investigação do comportamento de leitura também considere os aspectos de regularidade ortográfica.

### **3. C) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA III – DISLEXIA: CLASSIFICAÇÃO, HIPÓTESES EXPLICATIVAS E CARACTERÍSTICAS**

#### **3.5. A dislexia**

A dislexia é uma dificuldade de aprendizagem específica, de origem neurobiológica, caracterizada por dificuldades no reconhecimento da pronúncia e habilidades na decodificação de palavras. Essas dificuldades geralmente são devido a uma deficiência no componente fonológico da linguagem que não está relacionada à outras deficiências cognitivas. Consequências secundárias podem incluir problemas de compreensão na leitura e uma menor motivação à exposição à leitura, que conseqüentemente pode impedir o aumento do vocabulário e de conhecimento prévio (Lyon, Shaywitz, & Shaywitz, 2003). Apesar dos diversos avanços nos estudos que tentam explicar a origem da dislexia, sobretudo estudos genéticos, ainda é difícil quantificar com precisão o número de pessoas disléxicas. A diferença metodológica entre estudos, o retardo no diagnóstico e divergências com relação a aspectos etiológicos, impedem um consenso em relação à proporção de disléxicos presente no mundo. Atualmente, estima-se que entre 3 e 10% da população mundial seja disléxica (Maionchi-Pino, 2008).

Tendo como base os modelos de leitura de “Dupla-Rota” (Coltheart et al 2001) e levando-se em consideração as dificuldades apresentadas pelos disléxicos e as várias classificações existentes, fica difícil afirmar que apenas uma das duas vias existentes está

comprometida. É difícil optar por uma classificação estrita sobre a dislexia uma vez que “*déficits*” similares, ou com características diferentes, podem estar presentes em um mesmo sujeito. Apesar das divergências em se classificar um ou outro “*déficit*” de acordo com as hipóteses existentes, os estudos desenvolvidos no presente trabalho tomam como base a hipótese fonológica.

### 3.5.1. As conexões cerebrais

Em indivíduos normo-leitores, sabe-se que o processamento da linguagem não está restrito ao hemisfério cerebral esquerdo, mas está claro que, quanto mais solicitado o processamento fonológico do processamento linguístico, mais ativo estará o hemisfério esquerdo em relação ao direito. As regiões no hemisfério esquerdo envolvidas no processamento linguístico são: as áreas secundárias em torno do córtex auditivo primário esquerdo, no giro temporal superior (incluindo a área de Wernicke e *planum temporale*), os giros supramarginal e angular no córtex parietal posterior, a ínsula e a terceira convolução frontal inferior (área de Broca). No entanto, áreas homólogas no hemisfério direito também estão envolvidas no processamento linguístico, mas provavelmente em tarefas mais globais, como detectar sílabas e fronteiras das palavras (Stein, 2001).

A revisão da literatura de Salles, Parente, e Machado (2004) traz uma abordagem completa sobre o desenvolvimentos da dislexia, suas causas e as dificuldades enfrentadas pelos disléxicos. Nessa revisão, são descritos estudos realizados com amostras de células cerebrais de disléxicos *post-mortem* (Galaburda & Kemper, 1979), em que foram encontradas anomalias em células no córtex cerebral da região silviana esquerda (lobo temporal). Outra revisão bibliográfica (Beitchman & Young, 1997), citou a falta de esperada assimetria no *planum temporale* em crianças com distúrbios de linguagem e aprendizagem (essa região do hemisfério esquerdo era maior do que direito).

A análise de eletroencefalogramas (EEG) sugere um problema de maturação cerebral nessas crianças (Shiota, Koeda, & Takeshita, 2000). Rumsey et al. (1997) avaliaram o fluxo sanguíneo cerebral de disléxicos por meio de uma Tomografia de Emissão de Pósitrons (PET) durante a realização de tarefas de leitura de palavras em voz alta e decisão lexical. Ao comparar com não-disléxicos, os autores encontraram um padrão alterado de ativação no córtex temporal médio-posterior bilateralmente e no córtex parietal

inferior, predominantemente no hemisfério esquerdo. Seki et al. (2001) também encontraram alteração na ativação do giro temporal medial (parte da área de Wernicke – usando ressonância magnética funcional, fMRI), de crianças japonesas disléxicas durante a leitura de sentenças no sistema de escrita silábico “kana”. Segundo os autores, além do processamento normal, um processamento incomum (ativação bilateral do lobo occipital e do giro frontal inferior) também ocorre no cérebro dessas crianças, indicando potenciais diferenças nas funções hemisféricas para compensar dificuldades de leitura. O fato desses dois estudos mostrarem resultados similares sugere que disléxicos sofrem de disfunções cerebrais semelhantes independentes de diferenças educacionais culturais ou de linguagem (Seki et al., 2001).

Além do processamento linguístico, a leitura depende do processamento visual. A partir do córtex visual, o processamento visual se estende por duas vias: uma dorsal e outra ventral. A via dorsal é também denominada via magnocelular, uma vez que são os neurônios de mesmo nome, conforme apresentado na seção 3.2.2, especializados na detecção de movimento. Além disso, essa via é responsável pelo controle da movimentação ocular e dos membros e passa pelo giro supramarginal e giro angular, ambos localizados no córtex parietal posterior. A via ventral é especializada na identificação de formas e se projeta em direção ao córtex temporal. Dessa forma, o sistema visual interage com o sistema de processamento linguístico através das duas vias visuais, a partir do córtex parietal posterior e também do córtex temporal.

Em disléxicos, no entanto, os padrões de processamento visual e linguístico diferem dos padrões apresentados anteriormente. Recentes avanços tecnológicos em imagens médicas, particularmente no avanço da fMRI, tem fornecido evidências à favor de uma disfunção neurobiológica. Mais especificamente, sugere-se a ruptura de dois sistemas cerebrais do hemisfério esquerdo, parieto-temporal e occipito-temporal, com um engajamento compensatório de outras regiões, como o giro frontal inferior e a área occipito-temporal direita (Shaywitz & Shaywitz, 2005). A partir de fMRI, Shaywitz et al. (2002), identificou diferenças significativas nos padrões de ativação cerebrais entre crianças disléxicas e não-disléxicas durante a leitura de palavras e pseudopalavras. Crianças não-disléxicas demonstraram uma ativação significativamente maior do hemisfério esquerdo (regiões frontal inferior, temporal superior, parieto-temporal e giro occipital médio), bem como de regiões do hemisfério direito (região ao redor do giro frontal, região parieto-

temporal e região occipito-temporal). Esses achados corroboram com outros achados que demonstram uma deficiência na ativação do hemisfério esquerdo em disléxicos durante a leitura. Como proposto por Shaywitz e Shaywitz (2005), disléxicos apresentam falhas no funcionamento de sistemas cerebrais necessários à leitura, havendo a necessidade de compensar essas faltas de conexões por meio da ativação de sistemas auxiliares (regiões cerebrais anteriores - e.g., giro frontal inferior - e hemisfério direito). Essas regiões cerebrais anteriores, responsáveis pela articulação, ajudam disléxicos a desenvolver uma consciência da estrutura do som da palavra ao pronunciá-la com os lábios, língua e aparelho vocal. Esse processo permite que disléxicos consigam ler, mesmo que mais vagarosamente e de forma menos eficiente que leitores não disléxicos. Sendo assim, a ativação de regiões cerebrais anteriores permite que leitores disléxicos usem processos perceptuais que compensam a deficiência de habilidades fonológicas. Por fim, em leitores disléxicos, a disruptura dos sistemas de leitura parieto-temporal e principalmente occipito-temporal no hemisfério esquerdo parece ser a causa da deficiência na leitura. Por outro lado, a ativação de regiões auxiliares nas regiões anteriores dos hemisférios direito e esquerdo, e regiões posteriores no hemisfério direito sustentam uma leitura que pode ser acurada, porém não fluente, automática e desenvolva.

### **3.5.2. As diferentes classificações na dislexia de desenvolvimento**

As classificações dos diferentes tipos de dislexia de desenvolvimento tem diferentes implicações teóricas, clínicas e educacionais (Friedmann & Coltheart, 2018). Dentre as implicações teóricas, a principal vem do fato de que diferentes classificações, sugerem, por conseguinte, diferentes hipóteses explicativas para a origem das diversas dificuldades apresentadas pelos disléxicos. Além disso, a caracterização do “*déficit*” e suas diferentes classificações podem ainda, contribuir para a compreensão dos modelos de leitura. Clinicamente, as diversas classificações determinam diferentes abordagens no delineamento de intervenções que auxiliem disléxicos na superação de suas dificuldades, bem como do desenvolvimento de materiais que facilitem a leitura.

### **3.5.2.1. Dislexia visual (ou visuoatencional)**

A dislexia visual é uma deficiência no estágio de análise visual-ortográfica que causa a leitura da palavra como sendo outra. Nesse caso, erros de leitura são caracterizados por omissões, substituições, migrações e adições de letras. Essa deficiência resulta na dificuldade do reconhecimento das letras, seu posicionamento relativo dentro da palavra, bem como na dificuldade de separação entre palavras, podendo a letra de uma ser vinculada à outra (Friedmann & Coltheart, 2018).

Apesar de raramente estudada e pouco descrita (um dos casos apresentado por Valdois, Gérard, Vanault, & Dugas, 1995), autores descrevem como características da dislexia visual uma leitura lenta, com salto entre linhas, erros visuais na leitura de palavras isoladas como adições, substituições, omissões e inversões de letras. Segundo estudos anteriores (Valdois et al., 2003, Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007), a dislexia visual também é caracterizada por problemas na decodificação do posicionamento das letras devido a uma má orientação atencional. No entanto, outros estudos (Friedmann & Coltheart, 2018), diferenciam a dislexia visual de outra classificação, a dislexia atencional. Assim sendo, a dislexia visual estaria relacionada às substituições e omissões de palavras dentro das palavras, e não somente entre palavras, o que no caso definiria a dislexia atencional.

### **3.5.2.2. Dislexia de superfície**

A dislexia de superfície é causada por uma deficiência na via lexical, resultando em uma leitura via rota sublexical a partir da conversão grafema-fonema. A realização da leitura através da rota fonológica ao invés da rota lexical pode gerar diversos problemas. Primeiramente, os leitores tendem a realizar a regularização de palavras irregulares. Assim, a leitura de disléxicos de superfície ocorre da seguinte forma: primeiramente, as palavras são decompostas em letras ou grupo de letras que em seguida serão convertidas em fonemas, resultando, finalmente, na pronúncia da sequência sonora resultante (Guimarães, 2004). Sendo assim, esses indivíduos leem normalmente não-palavras, uma vez que a via sublexical está intacta, no entanto, falham na leitura de palavras irregulares.

A dislexia de superfície não afeta somente a acurácia da leitura, mas também a compreensão leitora. Um leitor que recorre apenas à correspondência grafema-fonema

para realizar uma leitura, não pode recorrer à avaliação ortográfica da palavra. Sendo assim, palavras homófonas, ou seja, que tem a mesma pronúncia, mas são escritas diferentemente, são tratadas como tendo o mesmo significado por esses leitores (e.g., *ascender* e *acender*, igualmente pronunciadas e que designam, respectivamente o ato de subir, elevar e o ato de afoguesar).

### 3.5.2.3. Dislexia fonológica

A dislexia fonológica pode ser tratada como a imagem espelhada da dislexia de superfície: aqui, a rota sublexical está comprometida, e a leitura só pode ser feita através da rota lexical. A principal evidência clínica é a dificuldade na leitura de não-palavras (Friedmann & Coltheart, 2018). Indivíduos com dislexia fonológica não são capazes de ler novas palavras, apenas aquelas que já estão registradas no léxico de entrada ortográfico e no léxico de saída fonológico. O tipo mais básico de dislexia fonológica é a dificuldade na conversão de letras em seus respectivos fonemas.

O perfil de leitura desses indivíduos é marcado pela dificuldade em aplicar as regras de correspondência grafema-fonema, particularmente na leitura de palavras pouco frequentes e de pseudopalavras. No entanto, a leitura de palavras regulares, irregulares e frequentes não é afetada. Vários erros de omissões, substituições, inversões ou adições de letras são observados durante a leitura desses indivíduos. Frequentemente, problemas de memória fonológica de curto prazo (*phonological short-term memory*) e consciência fonológica (Snowling, Stackhouse, & Rack, 1986) acompanham a dislexia fonológica.

### 3.5.2.4. Dislexia mista

Essa forma de dislexia combina ambos os “*déficits*”, via fonológica e lexical, e as dificuldades na leitura incluem palavras irregulares e pseudopalavras. Essa categoria é bem aceita uma vez que representa argumentos à favor de perfis indissociáveis de dislexia, e portanto, leva em consideração que esses indivíduos podem sofrer dois tipos de déficits, com prevalência de uma das alterações (Zoubrinetzky, Bielle, & Valdois, 2014).

### 3.5.3. Origens e hipóteses explicativas

A identificação de diferentes tipos de dislexia tem sido explicada por diversas teorias. As teorias explicativas que trazem reflexões mais pertinentes no âmbito desse estudo são as hipóteses *genética*, *visual*, *magnocelular* e *fonológica* uma vez que permitem a reflexão sobre os achados desse estudo relacionados à movimentação ocular e às funções visuais de leitura. Não é do escopo desse estudo fazer uma análise profunda dessas hipóteses (para revisão, veja Ramus et al., 2003) tampouco provar e/ou corroborar com uma ou outra hipótese. Desse modo, abordar-se-á as principais hipóteses relacionadas ao assunto e que pertinentemente parecem dignas de serem melhor detalhadas uma vez que lidam diretamente com funções visuais e fonológicas, fatores esses estritamente relacionados à leitura. Apesar desse estudo não testar nenhuma hipótese, reserva-se o direito de se posicionar à favor da teoria fonológica, ressaltando que os padrões visuais encontrados nesse estudo em sujeitos disléxicos são interpretados como sendo reflexo dos distúrbios fonológicos e não o contrário.

#### 3.5.3.1. Hipótese genética

O aspecto genético da dislexia suscita diversas especulações. Os estudos focados na hereditariedade demonstraram haver um componente hereditário quando avaliaram familiares de sujeitos disléxicos (DeFries, Fulker, & LaBuda, 1987, Lyytinen et al., 2004, Snowling, Gallagher, & Frith, 2003). Os resultados desses trabalhos reforçaram a hipótese de hereditariedade genética sem que fosse possível identificar os genes relacionados e suas implicações. Outros estudos identificaram regiões cromossômicas que parecem revelar uma implicação intrincada de vários genes (Fisher & DeFries, 2002, Grigorenko, 2001). Reconhece-se a contribuição das descobertas genéticas relacionadas à dislexia, no entanto é importante ressaltar que não existe um só gene relacionado à dislexia (Dehaene, 2007). Além disso, Ramus, (2004) apontou que existe uma grande heterogeneidade ao nível de déficits cognitivos e que provavelmente não são devido apenas um gene. A diversidade metodológica utilizada pelos estudos e falta de replicação dessas metodologias podem ser apontadas como principais limitações na identificação dos genes relacionados à dislexia. Além disso, não se pode negligenciar fatores ambientais durante o

desenvolvimento humano e que indubitavelmente influenciam na diversidade de dificuldades apresentadas pelos disléxicos.

### **3.5.3.2. Hipótese visual**

Os estudos que lidam com a hipótese visual se baseiam na investigação da disfunção de células visuais magnocelulares. Mais precisamente, a hipótese visual ou a hipótese “do déficit da via magnocelular (em inglês, “*visual magnocellular pathway deficit hypothesis*”, Stein & Walsh, 1997) preconiza que os problemas visuais apresentados pelos disléxicos seriam devido a alterações específicas da via magnocelular. Na seção 3.2.2 os detalhes das vias parvo, magno e konio podem ser acessadas para melhor compreensão da hipótese aqui apresentada. Os estudos que defendem a hipótese de um déficit magnocelular sugerem uma alteração morfológica e funcional da via magnocelular do sistema retino-cortical localizado no NGL (Galaburda, Menard, & Rosen, 1994, Jenner, Rosen, & Galaburda, 1999), das zonas extra-estriadas (Cornelissen, Richardson, Mason, Fowler, & Stein, 1995), em V5 (Eden et al., 1996) e em V1 (Demb, Boynton, & Heeger, 1998). Manifestações clínicas que suportam essa hipótese incluem dificuldades com a discriminação de baixo contraste, redução do limiar de processamento de tarefas de baixa frequência espacial (Slaghuis & Ryan, 1999) e de baixa luminância (mesópica), mas sem dificuldade no processamento em alta luminância (fotópica) (Cornelissen et al., 1995), e dificuldade na discriminação de diferenças de velocidade entre diferentes alvos (Demb, Boynton, Best, & Heeger, 1998).

O sistema magnocelular estaria encarregado na orientação visuo-atencional, ou seja, no controle dos movimentos oculares e na exploração visual (Stein & Walsh, 1997). Sua função seria a de detectar movimentos involuntários de imagens projetadas na retina de forma a estabilizar o olhar em função da imagem. Além disso, esse sistema estaria encarregado de enviar uma resposta inibitória ao sistema parvocelular a cada sacada ocular (Breitmeyer, 1980). Sendo assim, um déficit magnocelular seria acompanhado de uma instabilidade na fixação ocular e de um aumento na quantidade de movimentos oculares involuntários (e.g. problemas com o controle binocular, Stein, Richardson, & Fowler, 2000). Esses problemas explicariam certas manifestações clínicas observadas em disléxicos

como as frequentes regressões, a impressão de superposição e inversão de letras (Stein & Talcott, 1999).

### **3.5.3.3. Hipótese magnocelular**

Na tentativa de explicar as diversas características manifestas pelos disléxicos, sejam as dificuldades motoras, visuais ou auditivas, Stein e Walsh, (1997, Stein, 2001) propuseram a teoria magnocelular geral. De acordo com essa teoria, disléxicos apresentariam um mal funcionamento de todas as vias magnocelulares a partir do NGL, o que explicaria dificuldades motoras, visuais e auditivas. Essa teoria foi uma tentativa de unificar outras teorias em uma teoria neurobiológica única que explica todos os déficits (i.e. visuais, motores e auditivos). No entanto, assumir que essa teoria é suficiente para explicar todas as dificuldades clínicas apresentadas pelos disléxicos não é pertinente, uma vez que essa hipótese não consegue explicar os problemas fonológicos (Chiappe, Stringer, Siegel, & Stanovich, 2002), que podem ou não estar acompanhados de problemas sensório-motores.

A deficiência na via magnocelular tem sido demonstrada em estudos neuropatológicos, de potencial visual evocado, com ressonância magnética funcional, e técnicas psicofísicas (Stein, 2003). Ainda existem evidências de que o sistema magnocelular tem correlação com nível de habilidades ortográficas em leitores bons e deficientes, o que sugere, portanto, que esse sistema desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das habilidades ortográficas. O sistema magnocelular ainda mediará o direcionamento da atenção visual, bem como da fixação ocular nas palavras (Stein, 2003).

### **3.5.3.4. Hipótese fonológica**

A teoria fonológica é considerada uma das mais robusta para explicar a prevalência de determinados déficits em pessoas disléxicos. A maioria da população disléxica possui déficit fonológico (Ramus et al., 2003) e dificuldades pontuais na manipulação das diversas unidades do idioma, como por exemplo, a adição, inversão ou supressão de fonemas ou sílabas (Habib, 2000). Atualmente, já está elucidado que a célebre confusão entre as letras “b” e “p” não é devido à um déficit visual, mas sim de natureza fonológica e que elas podem

ser encontradas também em crianças normo-leitoras (Cossu, Shankweiler, Liberman, & Gugliotta, 1995). No entanto, o fato de que alguns disléxicos não apresentam problemas fonológicos vai de encontro com a hipótese fonológica, o que corrobora com o fato de que até o momento nenhuma hipótese pode ser tomada como válida para explicar a variedade de dificuldades apresentadas por esses indivíduos.

### **3.5.4. Dislexia e ciências visuais**

A leitura fluida requer o processamento rápido da informação visual, tanto no âmbito espacial (i.e., o arranjo das letras, das palavras) quanto temporal (e.g., duração de fixações e sacadas, etc). A suposição de que uma deficiência no sistema magnocelular (Stein, 2001) seja responsável pela dislexia levou muitos estudos a investigarem anomalias em disléxicos incluindo dificuldades de percepção visual de baixo contraste, baixa frequência espacial e alta frequência temporal. O sistema magnocelular, responsável pela detecção de movimento e posição, usa preferencialmente esses tipos de informações. Assim sendo, o sistema magnocelular, supostamente contribuiria para a rápida integração da informação visual durante a leitura ao proporcionar um processamento eficiente de informações espaciais e temporais.

#### **3.5.4.1. A atenção visual**

A *atenção visual* é a habilidade que temos de orientar recursos cognitivos a determinadas áreas ou estímulos que contenham informação visual relevante para determinada tarefa enquanto tenta-se ignorar estímulos irrelevantes. A atenção visual reduz a quantidade de informações que podem ser processadas acelerando o processamento visual. Durante a leitura, espera-se que a atenção visual oriente recursos cognitivos para o processamento dos componentes do texto. Porém, apesar da disfunção fonológica ser apontada como causa central da deficiência de leitura em disléxicos, alguns estudos apontam também o acompanhamento de uma deficiência da atenção visual (Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004). A análise da atenção visual é detectada através da análise da *janela atencional*, que refere-se à extensão da quantidade de informação ortográfica capaz de ser tratada em cada etapa da leitura (Bosse et al., 2007). A *janela atencional* pode ser

inferida a partir de experimentos que usam o teste de “visual attention span”, e que especificamente no caso da leitura pode ser testado com a apresentação de letras sequenciais que não apresentam significado lexical ou semântico.

#### 3.5.4.2. “Crowding” e dislexia

O efeito de aglomeração (“*crowding*” em inglês), refere-se à dificuldade no reconhecimento de um determinado objeto devido a presença de outros estímulos na periferia (Bouma, 1970). A identificação de um objeto é mais fácil quando estímulos ao redor estão afastados até uma distância em que o reconhecimento do objeto em questão é possível. Essa dada distância é definida como “espaço crítico”, ou seja, a menor distância entre um objeto e estímulos ao seu redor em que é possível reconhecer o objeto em questão. O espaço crítico depende da excentricidade retiniana; conforme a distância em relação à fóvea aumenta, mais difícil fica a tarefa de identificar estímulos periféricos. Assim, quanto maior o tamanho de uma palavra, mais forte é o efeito “*crowding*” nas partes da palavra que não estão localizadas no centro (Martelli, Filippo, Spinelli, & Zoccolotti, 2017).

O mecanismo pelo qual o efeito de aglomeração acontece ainda não foi totalmente esclarecido. Alguns estudos (Doron, Spierer, & Polat, 2015) (Gori & Facoetti, 2015) sugerem que o processamento de baixo-nível é responsável pelo “*crowding*”, ocorrendo assim, precocemente no córtex visual primário. Outros estudos referem que o efeito de aglomeração é influenciado pelo processamento de alta-ordem, como a atenção. Outras teorias explicam esse fenômeno a partir do que acontece em relação ao alvo observado. O efeito afetaria de forma distinta estímulos de diferente origens (i.e. símbolos e letras) (Grainger, Tydgat, & Isselé, 2010), indicando que o processamento de letras envolveria um sistema especializado capaz de limitar o efeito de aglomeração entre letras de uma palavra. Em contrapartida, outra corrente científica defende que não há um mecanismo específico relacionado ao efeito de aglomeração em letras (Castet, Descamps, Denis-Noël, & Colé, 2017).

Sabe-se que o efeito de aglomeração tem uma relação direta com a extensão da janela perceptual. Dentre os três componentes sensoriais responsáveis pela determinação do tamanho da janela perceptual (i.e. resolução, erro no posicionamento ou “*mislocations*”, e “*crowding*”) “*crowding*” foi apontado como o responsável por 75% da perda de informação

(Yu, Legge, Wagoner, & Chung, 2014). Ao que diz respeito à leitura, o efeito de aglomeração afeta diretamente a identificação das letras componentes de uma palavra (Chung & Legge, 2009). A redução da acurácia na identificação das letras pode resultar: 1. identificação errônea da letra-alvo (i.e., erro na identificação da letra), e/ou 2. correta identificação da letra-alvo, mas na posição errada relativa às demais letras (i.e., erro de posicionamento da letra) (Chung & Legge, 2009). Além disso, o efeito de aglomeração influencia diretamente a curva de velocidade de leitura vs tamanho de letra, ou seja, ele influencia os parâmetros da curva, como o “*cliff*” e o “*plateau*” (Pelli et al., 2007), relacionados às funções visuais de leitura (descritas na seção 3.3.3) e utilizados no presente trabalho (descrito na seção 4).

A hipótese de que o efeito “*crowding*” é mais pronunciado em disléxicos remonta desde o trabalho de Bouma e Legein (1977). Mais especificamente, Atkinson (1993) identificou esse efeito pronunciado ao medir a acuidade visual central de disléxicos para letras apresentadas sozinhas ou cercadas por outras letras. Adicionalmente, estudos mais recentes reportaram que o tempo de leitura em voz alta é mais lento para sujeitos disléxicos durante a leitura de palavras rodeadas por outras palavras (Spinelli, De Luca, Judica, & Zoccolotti, 2002). Em linha com a hipótese do efeito “*crowding*”, estudos reportaram redução do tempo de reação de leitura em voz alta para leitores disléxicos, mas nenhum efeito para não disléxicos, quando a distância entre letras foi aumentada. O efeito no tempo de resposta foi maior sobretudo para crianças disléxicas, corroborando a hipóteses de que o “*crowding*” afeta mais crianças do que adultos (Yvonne Norgett & Siderov, 2014). No entanto, os achados de Spinelli et al., (2002) devem ser avaliados com parcimônia dado as limitações do estudo. Os autores não avaliaram diretamente o efeito de “*crowding*”, tampouco o espaço crítico entre as letras, resultando, portanto, em uma análise indireta da relação entre “*crowding*” e tempo de resposta.

#### **3.5.4.3. A movimentação ocular em sujeitos disléxicos**

Estudos sugerem que durante a leitura, leitores iniciantes, inexperientes e disléxicos apresentam padrão de movimentação ocular similar caracterizado por fixações de duração mais longa, sacadas de menor amplitude, maior quantidade de fixações e regressões do que leitores não-disléxicos (Keith Rayner, 1998). Se a movimentação ocular fosse a causa

da deficiência de leitura, testes básicos de movimentação ocular facilmente diagnosticariam tais deficiências e treinamento oculomotor resultaria em uma melhora no desempenho de leitura. No entanto, a teoria mais aceita é a de que a movimentação ocular não é a causa da dificuldade de leitura, mas sim o reflexo de outras deficiências, como a fonológica. Três achados levam a essa conclusão. Primeiramente, Hyönä e Olson (1995) demonstraram que leitores disléxicos são influenciados pela frequência lexical (i.e. palavras pouco frequentes são fixadas por mais tempo do que aquelas mais frequentes). Em segundo lugar, Pirozzolo e Rayner (1979) demonstraram que, quando oferecidos textos apropriados para o nível de leitura, leitores disléxicos apresentam padrão de movimentação ocular semelhante a leitores não-disléxicos de mesma idade (Olson, Kliegl, & Davidson, 1983). Por último, Rayner, (1986) mostrou que o padrão de movimentação ocular (amplitude de sacada, duração de fixação e o tamanho da janela perceptual) de crianças não-disléxicas pode ser similar ao padrão de crianças disléxicas se o texto apresentado requerer nível de leitura inapropriado para idade. Esses resultados sugerem que o rastreamento ocular reflete as dificuldades de leitura de disléxicos, ao invés de representar a causa dessas deficiências.

### **3. D) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA IV – MODELOS COMPUTACIONAIS DE CONTROLE DA MOVIMENTAÇÃO OCULAR DURANTE A LEITURA**

#### **3.6. Modelos computacionais e o rastreamento ocular**

De maneira geral, existem duas categorias de modelos de controle da movimentação ocular durante a leitura: oculomotor e de processamento (O'Regan & Lévy-Schoen, 1987, Reilly & O'Regan, 1998), (Kennedy & Pynte, 2008, Kliegl, 2007, Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006, Rayner, Pollatsek, Liversedge, & Reichle, 2009). Cientistas a favor do modelo oculomotor (e.g., *Strategy-tactics model*) defendem que a movimentação ocular durante a leitura é previamente determinada, e que informações de alto-processamento (lexical, sintática ou contextual) tem pouca influência no controle dos olhos. Sendo assim, decisões de “onde” e “quando” mover os olhos são determinadas por informações de “baixo-nível” (i.e., não-linguísticas, McConkie et al., 1991, O'Regan, 1992). Segundo esses pesquisadores, para “onde” olhar seria determinado por propriedades visuais do texto (i.e.,

extensão da palavra e espaçamento entre palavras) e por limitações da acuidade visual. Nesse caso, o tempo de fixação estaria relacionado à posição em que os olhos aterrissam na palavra, e, portanto, a posição de aterrissagem do olhar não aconteceria de forma randomizada, mas de forma eficiente sugerindo a existência de uma posição ótima de aterrissagem (geralmente localizada entre o início e a metade de uma palavra, Rayner, 1979, Radach & McConkie, 1998). Já os modelos de processamento assumem que os fatores linguísticos exercem uma influência na movimentação ocular, conforme apresentado, por exemplo, nos modelos E-Z reader e SWIFT. De modo geral, aqueles a favor dos modelos de controle da movimentação ocular não excluem a influência dos fatores de baixo-nível, mas acreditam que sua influência no tempo de fixação é ínfima quando comparada com a influência de fatores de alto-nível. No entanto, apesar de pesquisadores na área afirmarem que a decisão de “quando” mover os olhos (e por quanto tempo fixar) é majoritariamente influenciada pelo processamento cognitivo, a decisão de “onde” pousar os olhos seria majoritariamente uma tarefa oculomotora e de fatores visuais (com mínima influência de fatores linguísticos) (Rayner, 2009b) .

Os modelos computacionais consideram cinco fatores centrais com relação a movimentação ocular durante a leitura (para uma revisão, veja Rayner, 1998, Rayner, 2009a). Primeiramente, o tempo médio de uma fixação se dá entre 200 a 250ms (apesar de considerável variabilidade - existem fixações abaixo de 100ms e outras acima de 500ms). Em segundo lugar, o tamanho médio de uma sacada “*average saccade length*” (em sistema alfabético) é por volta de 7-9 caracteres (apesar de também haver grande variabilidade para essa medida, sendo possível encontrar sacadas com espaçamento de 1 caractere e outras de mais de 20 caracteres). Em terceiro lugar, várias medidas de tempo de processamento, como a duração da primeira fixação (o tempo de duração da primeira fixação realizada na palavra), o tempo de duração da única fixação (a duração da fixação quando apenas uma fixação é realizada em uma determinada palavra), e tempo de rastreamento (a soma do tempo total de todas as fixações em uma determinada palavra antes de mover o olhar para a próxima palavra). Quarto, leitores pulam palavras, entre 25% a 30% das palavras de um texto não são fixadas. Um fator que influencia fortemente esse comportamento é o tamanho da palavra: quanto menor, maior a probabilidade de ser pulada. Por último, em quinto, leitores realizam sacadas de regressão (i.e., sacadas que

acontecem da direita para a esquerda) por volta de 10-15% do tempo. No entanto, regressões apresentam limitações uma vez que esse comportamento pode ser considerado processamento de alta-ordem (Reichle, Warren, & McConnell, 2009), qual não é considerado pelos modelos computacionais de rastreamento ocular durante a leitura. A duração de uma fixação parece também ser afetada pela frequência lexical (Raney & Rayner, 1995, Rayner & Raney, 1996) e pelo contexto textual (Keith Rayner & Well, 1996). Mesmo quando fatores de baixa ordem (e.g. extensão da palavra) são mantidos constantes, a frequência lexical afeta a duração de fixação; leitores apresentam fixações mais longas em palavra menos frequentes e fixações mais curtas em palavras de alta frequência (Rayner & Duffy, 1986). Finalmente, com relação ao contexto, determinadas palavras tendem a ser antecipadas pelos leitores reduzindo a duração da fixação (Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985, Rayner & Well, 1996).

Além das cinco características citadas anteriormente, os modelos computacionais de movimentação ocular devem contar ainda com outros cinco achados relacionados ao rastreamento ocular durante a leitura. O primeiro deles é a janela perceptual, “*perceptual span*”, definida como a região percebida durante uma fixação localizada entre 3-4 caracteres à esquerda da fixação e 14-15 caracteres à sua direita. Em segundo lugar, os leitores obtêm um benefício prévio, “*preview benefit*”, da palavra que está à direita da fixada, o que diminuiria a probabilidade de refixação (Rayner, 1975b). Em terceiro, a duração de uma fixação varia em função da frequência da palavra e sua previsibilidade. Quarto, existem efeitos associados com a posição de aterrissagem da sacada na palavra (McConkie et al., 1988, Rayner, 1979). Em último / quinto, apesar de paradoxal, a duração de uma única fixação em uma palavra é maior quando o olhar se localiza exatamente no meio da palavra (efeito denominado Efeito Invertido da Posição Ótima do Olhar, em inglês, “*Inverted Optimal Viewing Position – IOVP*”, Vitu, McConkie, Kerr, & O’Regan, 2001). Além de considerarem descobertas de estudos experimentais, modelos computacionais também fazem previsões a respeito do rastreamento ocular durante a leitura. Dois dos mais proeminentes modelos, “*E-Z reader*” e “*SWIFT*”, combinam esses aspectos.

Os modelos de controle da movimentação ocular durante a leitura fazem bom trabalho ao considerar as variáveis que influenciam a movimentação ocular e como a decisão de onde posicionar os olhos é tomada. No entanto, esses modelos ainda são ineficazes para considerar as variáveis sintáticas que também influenciam o rastreamento

ocular durante a leitura (Staub & Rayner, 1988). Uma visão geral dos modelos computacionais de controle da movimentação ocular pode ser acessada no Quadro 6 com respectivas referências na literatura.

Os modelos computacionais combinam achados experimentais com previsões a partir das variáveis previamente citadas. No entanto, a aplicação dos modelos está intrinsecamente ligada a qualidade do desenho experimental. Apesar de pesquisas relacionadas ao rastreamento ocular durante a leitura (seção 3.7) estarem em grande parte relacionada ao desenvolvimento desses modelos, a pesquisa experimental ainda contribui significativamente para o desenvolvimento da área. Alguns fatores, como regressões e seus efeitos na movimentação ocular e no processamento de alta ordem, ainda faltam ser elucidados a partir de contribuições de estudos em ambas as áreas. Apesar da existência de diversos modelos de controle da movimentação ocular durante a leitura, os dois modelos mais proeminentes a serem abordados com detalhes a seguir são “*strategy-tactics model*”, E-Z reader e SWIFT.

**Quadro 6. Modelos computacionais acerca do rastreamento ocular durante a leitura.**

<b>Modelo</b>	<b>Referência</b>
<i>Strategy-tactics model</i>	(O’Regan & Lévy-Schoen, 1987) (Reilly & O’Regan, 1998)
<i>E-Z Reader</i>	(E D Reichle, Pollatsek, Fisher, & Rayner, 1998) (Erik D Reichle, Rayner, & Pollatsek, 2003) (Pollatsek, Reichle, & Rayner, 2006)
SWIFT	(Engbert et al., 2005) (Engbert et al., 2005)
<i>Mr.Chips</i> <sup>3</sup>	(G E Legge, Klitz, & Tjan, 1997) (Gordon E Legge, Hooven, Klitz, Stephen Mansfield, & Tjan, 2002)
EMMA (SAS dentro sistema ACT)	(Salvucci, 2001) An integrated model of eye movements and visual encoding.
Glenmore (GAG dentro do sistema Connectionist)	(Reilly & Radach, 2005)

<sup>3</sup> Modelo “ideal observer” no qual não se considera imitar a leitura humana

<i>SERIF</i> (POC <sup>4</sup> )	(McDonald, Carpenter, & Shillcock, 2005)
<i>Competition/ Activation</i> (POC)	(Yang & Shun-Nan, 2006)
<i>SHARE</i> (POC)	(Feng, 2006)

### 3.6.1. “*Strategy-tactics model*”

O modelo tático-estratégico (“*strategy-tactics model*”) é atualmente um dos modelos oculomotores mais proeminentes (O’Regan & Lévy-Schoen, 1987, Reilly & O’Regan, 1998). Segundo esse modelo, quanto mais próximo do centro da palavra uma fixação acontece, menor é a probabilidade de refixação, e portanto, a identificação da palavra é facilitada ao máximo (O’Regan, 1992). Assim sendo, leitores movimentariam seus olhos de forma a fixar o olhar nessa posição considerada ótima. Nesse caso, a probabilidade de refixação ocorreria em função apenas de fatores visuais de baixo nível (e.g. local em que os olhos aterrissam), e não dependendo de fatores de processamento de alta ordem (e.g. frequência lexical). Além disso, esse modelo considera que apenas em duas situações os fatores lexicais podem influenciar a movimentação ocular: 1. quando há apenas uma única fixação de longa duração, ou 2. quando duas fixações ocorrem numa mesma palavra (sendo a segunda fixação modulada por fatores linguísticos). Por exemplo, Rayner et al. (1996) reportou que leitores tinham maior probabilidade de refixar uma palavra de frequência lexical menor do que palavras de frequência maior. Assim sendo, o modelo oculomotor foca majoritariamente em fatores de baixa ordem, e não abrange a influência de fatores de alta ordem. Achados favoráveis a esse modelo oculomotor incluem efeitos da extensão da palavra no local de fixação do olhar e sua duração (Rayner et al., 1996, Rayner & McConkie, 1976).

### 3.6.2. E-Z reader

O modelo “E-Z reader” é uma família de modelos inicialmente apresentado por Reichle et al. (1998) e posteriormente aprimorado por Reichle et al. (2003), Rayner, Ashby,

---

<sup>4</sup> No modelo POC (Primarily Oculomotor Control) a maior parte da variação no tempo de fixação é devido às propriedades do sistema oculomotor e as variáveis lexicais podem influenciar apenas fixações muito longas. Dentre os modelos existe uma certa variação ao explicar quão cedo o processamento lexical pode afetar o tempo de fixação. No modelo SERIF, o processamento perceptual das palavras tem um efeito mais imediato sobre quando os olhos se movem do que o modelo Competition/Activation ou SHARE.

Pollatsek, e Reichle, (2004) e Pollatsek et al. (2006). Em todas as versões do modelo, o processamento lexical é considerado a engrenagem que impulsiona o rastreamento ocular durante a leitura. A versão mais recente do modelo (i.e. “E-Z Reader 10”, Reichle, Liversedge, Pollatsek, & Rayner, 2009) apresenta uma abordagem que inclui a influência de variáveis de alta ordem na movimentação ocular.

O modelo “E-Z reader” (Reichle, Pollatsek, & Rayner, 2006) considera diversas variáveis que influenciam tanto “quando” e “onde” a movimentação ocular deve acontecer. De forma geral, esse modelo inclui quatro processos (Reichle et al., 2003): 1. verificação de familiaridade, “*familiarity check*”, 2. finalização do acesso lexical, “*the completion of lexical access*”, 3. programação das sacadas, “*the programming of saccades*” e 4. sacadas “*the saccades*”. Os quatro processos ocorrem majoritariamente de forma seriada, sendo que no início da leitura, ao fixar uma palavra, o leitor verifica a familiaridade com a mesma. Paralelamente, o acesso lexical (e.g. reconhecimento da palavra) se inicia, sendo que a etapa de familiaridade é finalizada antes. Uma vez finalizada a etapa de familiarização, a programação das sacadas em direção à próxima palavra se inicia enquanto o processamento lexical continua. Finalmente, o acesso lexical é finalizado, e, por conseguinte, a palavra é reconhecida e a sacada acontece.

De acordo com o modelo “E-Z reader” dois estágios do processamento lexical ocorrerão quando o leitor fixa uma palavra. O estágio inicial (L1) ocorre nos primeiros milissegundos da leitura da palavra e determinará o reconhecimento (ou não) da palavra fixada. Atingido determinado limiar, um sinal é enviado ao sistema oculomotor para programar a sacada para a próxima palavra não identificada no texto. Essa decisão de “onde” ir é influenciada por um sistema atencional de baixo nível (i.e., sistema responsável por reconhecer a informação que está por vir incluindo limites físicos de cada palavra) que opera em paralelo com o processamento lexical. O segundo estágio do processamento lexical (L2) é semelhante ao acesso lexical para a palavra. Quando L2 está completa, a atenção é direcionada para  $n+1$  e os dois estágios iniciam para reconhecimento dessa palavra. Em algumas ocasiões, L1 e L2 estarão ambos finalizados para a palavra  $n+1$  (e.g., palavras facilmente previsíveis). Nesse caso, a atenção será direcionada para a palavra  $n+2$ ; a sacada para a palavra  $n+1$  também será cancelada e a sacada será programada para a palavra  $n+2$ . Levando-se em consideração que os dois estágios de processamento

são influenciados pela previsibilidade e frequência da palavra  $n$ , o processamento lexical é então a engrenagem que direciona o rastreamento ocular durante a leitura.

O modelo “*E-Z reader*” adere aos princípios básicos dos modelos atencionais de movimentação ocular. O mecanismo de verificação de familiaridade comanda a geração da sacada e a atenção é alocada para uma próxima palavra somente quando o processamento lexical é completado. O tempo associado com a programação da próxima sacada permite que a atenção seja alocada para a próxima palavra antes que a sacada seja executada (Grainger, 2003). Assim sendo, o presente modelo trabalha com a premissa de que o processamento é realizado de forma serial, no entanto essa premissa parece ser difícil de ser sustentada, devido à 1. Influência parafoveal e foveal, 2. Influência da informação extraída à esquerda da palavra fixada e 3. variação na duração das fixações dependendo se a próxima palavra será ou não “pulada” /negligenciada. De acordo com o modelo de atenção serial, o negligenciamento de uma palavra só aconteceria se a sacada para uma próxima palavra fosse cancelada e reprogramada para palavra seguinte, porém essa premissa não é suportada por estudos experimentais (Grainger, 2003). Devido a essas considerações foi-se desenvolvido modelos de atenção paralela.

O modelo “*E-Z reader*” prediz que durante a leitura quando uma palavra é pulada, as fixações prévia e posterior serão mais longas. O pressuposto é que as palavras são reconhecidas lexicalmente de forma seriada, porém, não há um consenso na literatura atual. Alguns estudos reportaram tempo de fixação maior (Rayner, Juhasz, Ashby, & Clifton, 2003, Engbert, Nuthmann, Richter, & Kliegl, 2005) enquanto outros não acharam esse efeito (Engbert, Longtin, & Kliegl, 2002, Radach & Heller, 2000), provavelmente pelo fato de que não é possível antecipar quando o leitor irá pular uma palavra além de possíveis erros motores ao efetuar o movimento sacádico.

A segunda predição do modelo “*E-Z reader*” é a de que os leitores geralmente não obtêm informação prévia da palavra  $n+2$ . O modelo afirma que dado um rastreamento ocular normal, os leitores obtêm informação prévia apenas da palavra à direita do ponto de fixação (i.e. palavra  $n+1$ ) com exceção quando a  $n+2$  é o próximo alvo da próxima sacada (Rayner, Juhasz, & Brown, 2007, McDonald, 2006). Novamente, essa afirmação advém do pressuposto de que o processamento da informação é realizado de forma seriada. De maneira oposta, o modelo “SWIFT” prediz que pode haver um benefício prévio em relação à palavra  $n+2$  quando a palavra  $n$  e a  $n+1$  são ambas curtas e de alta frequência.

A terceira variável está relacionada ao efeito parafoveal em que características da palavra  $n+1$  podem influenciar a duração da fixação em  $n$ . Ambos modelos, “SWIFT” e “*E-Z reader*” consideram que há um efeito parafoveal, no entanto para o último modelo, esse efeito está limitado às características ortográficas da palavra (e não lexicais). Nesse caso, a frequência da palavra  $n+1$  não influenciaria a duração da fixação em  $n$  no modelo EZ-reader, enquanto o contrário pode ocorrer no modelo “SWIFT”.

### 3.6.3. SWIFT

O modelo “*E-Z reader*” é classificado como um modelo de atenção seriada (“*serial attention shift*”, SAS), enquanto que o SWIFT é caracterizado como modelo de atenção gradiente (“*gradient by attention guidance*”, GAG). A maior distinção entre esses modelos se dá no processamento lexical, sendo seriado no “*E-Z reader*”, e paralelo no modelo SWIFT (i.e. mais de uma palavra seria processada lexicalmente não importando o local de fixação). Há uma vasta discussão na literatura científica quanto a essa característica e nenhum consenso claro sobre o assunto (Kennedy & Pynte, 2008, Kliegl, 2007, Kliegl, Nuthmann, & Engbert, 2006, Rayner, Pollatsek, Liversedge, & Reichle, 2009). Outra diferença entre esses modelos é que no “*E-Z reader*”, o processamento cognitivo/lexical é a engrenagem que orienta a movimentação ocular, enquanto que no modelo SWIFT as sacadas são geradas de forma autônoma com ocasionais influências cognitivas. Assim sendo, ambos modelos consideram que variáveis como frequência da palavra e sua previsibilidade possam influenciar na movimentação ocular. Por outro lado, modelos como o *modelo de inibição competitivo* (“*Competition Inhibition model*”), geralmente postulam que as variáveis cognitivas e lexicais só podem afetar tardiamente a movimentação ocular, o que parece ser inverossímil considerando aspectos descritos previamente.

Embora existam similaridades entre os modelos “*E-Z reader*” e SWIFT, também existem diferenças fundamentais. A primeira diferença fundamental diz respeito ao controle cognitivo, assumindo-se que o modelo SWIFT não utiliza o conceito de verificação de familiaridade (como o “*E-Z reader*”) para iniciar o movimento sacádico. Ao invés disso, a sacada começa de forma autônoma. Entretanto, a atividade lexical pode influenciar a programação autônoma da sacada, atrasando o seu início. A atividade lexical associada com a palavra que está sendo fixada modifica o tempo de intervalo que é utilizado como

exemplo para o início da próxima sacada (Grainger, 2003). A outra diferença fundamental está relacionada ao processamento lexical que se dá em paralelo no modelo SWIFT (previamente descrito).

### **3. E) FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA V – O USO DO “EYETRACKER” PARA O ESTUDO DA LEITURA**

#### **3.7. “Eyetracker” e leitura**

O uso do rastreador ocular, em inglês, “*eyetracker*”, em estudos na área da leitura tem longa e rica história iniciada no século XIX. Considera-se a existência de quatro diferentes Eras relacionadas à pesquisa da movimentação ocular durante a leitura. A primeira era corresponde às observações iniciais de Javal no que diz respeito ao papel da movimentação ocular durante a leitura (Huey, 1908) e que se estende até 1920. Durante essa primeira Era foram descobertos conceitos básicos a respeito do rastreamento ocular e leitura que são utilizados ainda nos dias atuais.

A segunda Era coincide com achados relacionados a movimentação ocular básica, sem inferir processamento mental. Estudos clássicos em leitura (Tinker, 1946) e em percepção de cena (Buswell, 1935) foram desenvolvidos durante essa era. Tinker (1958) afirma de forma pessimista em seu trabalho que quase tudo sobre que tinha sido aprendido sobre leitura através da avaliação do rastreamento ocular (dada a tecnologia disponível naquele tempo) tinha sido descoberta. Essa opinião parece ter sido aceita, como reportado por Rayner (1998), uma vez que poucas pesquisas nessa área foram realizadas entre a segunda metade dos anos 50 até a primeira metade dos anos 70 do século XX.

A terceira Era tem início na segunda metade dos anos 70 do século XX e foi marcada por dois fatores importantes: de um lado, uma melhor descrição da linguagem, e de outro, os rápidos avanços tecnológicos que resultaram em um acentuado progresso nos sistemas de gravação da movimentação ocular (bem como dos sistemas computacionais), possibilitando assim, medidas mais acuradas e mais facilmente adquiridas.

A quarta Era tem seu início a partir dos anos 90 do século XX, compreendendo até os dias atuais, e marcada pelo desenvolvimento de modelos complexos e sofisticados (na forma de simulações computacionais). Nos últimos 10 anos, o foco de pesquisa na área

tem sido na validação (ou não) desses modelos computacionais (detalhados na seção 3.6). Apesar da evolução tecnológica de rastreadores de olhar contribuir diretamente na vasta produção de informações, bem como na qualidade dos dados avaliados, ainda se faz necessário estabelecer critérios robustos para escolha da tecnologia apropriada para determinado objetivo dentre as diversas opções disponíveis.

### 3.7.1. O aparato tecnológico

Se a pesquisa na área da leitura é um grande desafio por si só dada sua complexidade e abrangência, pesquisadores também enfrentam um desafio adicional: estabelecer parâmetros confiáveis para garantir uma qualidade na aquisição de dados do ocular. Muito se discute sobre os padrões de movimentação ocular que estão relacionados à leitura, quais variáveis foram utilizadas bem como quais são as mais adequadas para determinadas avaliações (e.g., amplitude das sacadas para a avaliação espacial da movimentação ocular; duração da primeira fixação para a avaliação do processamento linguístico da palavra). Infelizmente, poucas são as discussões que permeiam os fatores que podem afetar a aquisição das medidas da movimentação ocular, seja por motivos biológicos (e.g., olhos semicerrados, cílios extensos), ambientais (e.g., iluminação do ambiente) e/ou limitações tecnológicas (e.g., calibração, acurácia, precisão e taxa de aquisição do equipamento).

A escolha do “*eyetracker*” é tão importante quanto a escolha metodológica da tarefa, e portanto, nessa seção, são abordados os aspectos tecnológicos que podem influenciar no resultado final da aquisição dos padrões de movimentação ocular. Dentre as características do “*eyetracker*” que mais devem ser consideradas estão: a *acurácia*, a *precisão*, a *taxa de aquisição* e a *calibração*.

A *acurácia*, também conhecida por “*offset*”, é uma das propriedades mais importantes do “*eyetracker*”. Geralmente, ela está entre 0.3° a 0.5°, medida essa que se refere à distância entre a posição atual (referência) do olhar e da posição que está sendo gravada (coordenadas “x” e “y”). Uma vez que a verdadeira posição do olhar só pode ser estimada através da observação externa das características do olhar, a localização do alvo no qual os participantes são orientados a fixar o olhar pode ser usada como referencial. A

acurácia é de extrema importância, principalmente em estudos que utilizam estímulos de tamanho reduzido, como por exemplo letras e palavras. Em estudos de leitura, as áreas de interesse (“*areas of interest*”, AOI) podem ser palavras e/ou letras muito próximas umas das outras.

*Precisão*, outra variável importante a ser considerada na escolha do “*eyetracker*”, é definida como a capacidade de reproduzir de forma confiável uma medida da movimentação ocular. Por exemplo, a capacidade do equipamento em detectar microssacadas ou movimentos de perseguição lenta só é possível com um sistema que garante alta precisão. Uma baixa precisão pode ser causada por uma série de fatores, a maioria deles relacionados à qualidade da câmera que registra a movimentação ocular ou devido aos algoritmos que calculam a posição da pupila e do reflexo corneano. Fatores intrínsecos ao participante, como a cor dos olhos também influencia a precisão. Medidas que podem ser tomadas para melhorar a precisão do sistema incluem melhora do “*hardware*” (i.e., aumento da resolução da câmera e uso de sistemas “*head-mounted*” ao invés de “*remote*”), e melhora nas condições de aquisição (e.g., apoiador de cabeça pra reduzir movimentação da cabeça).

A *taxa de aquisição*, em inglês, “*sampling frequency*” refere-se a quantas vezes por segundo a posição dos olhos é registrada pelo equipamento. Quanto maior a taxa de aquisição, mais dados estarão disponíveis para análise da movimentação ocular. No entanto, maior taxa de aquisição implica em equipamentos mais sofisticados e alto custo financeiro. Um “*eyetracker*” com taxa de aquisição de 60Hz implica que o intervalo de tempo entre uma aquisição de posicionamento do olhar e outra é de 16.67ms. Ao utilizar um “*eyetracker*” com o dobro dessa frequência, 120Hz, o intervalo de aquisição de dados será de 8.33ms e assim por diante.

A *calibração* é uma etapa necessária para relacionar as características oculares que são avaliadas na imagem dos olhos e o posicionamento dos olhos e/ou o posicionamento do olhar em relação a um estímulo com posição conhecida. A cada ponto de calibração, o “*eyetracker*” detecta diversas coordenadas dos olhos e associa a posição do olhar em relação a posição conhecida do alvo, avaliando se eles são compatíveis ou não. Ainda cabe a escolha do tipo de calibração, que pode ser realizada de diversas formas incluindo: *calibração controlada pelo sistema*, *calibração controlada pelo examinador* e *calibração*

*controlada pelo participante*. A maior parte das calibrações realizadas nos estudos utilizam a *calibração controlada pelo sistema*. As decisões de onde os olhos estão fixando são definidas e calculadas automaticamente por algoritmos. Os benefícios desse tipo de calibração são a facilidade e velocidade em que ela acontece. A rapidez na calibração reduz o risco de que o participante direcione muito de sua atenção para o processo de calibração, fazendo com que ele tome consciência de que seus olhos estão sendo monitorados. A decisão do algoritmo em aceitar a calibração automaticamente a partir do alvo apresentado é a de que os olhos estão relativamente em uma posição estacionária quando fixando o alvo. As desvantagens em se optar por esse tipo de calibração são o fato de que o examinador tem menos controle sobre o ritmo da calibração e mais dificuldade em detectar momentos de falha da aquisição.

Na *calibração controlada pelo examinador*, é ele quem decide quando e onde o alvo irá aparecer para o participante, além de, obviamente, monitorar os olhos do participante e decidir se o olhar se encontra suficientemente posicionado no alvo no momento da calibração. Os benefícios desse método incluem a possibilidade de se detectar possíveis fontes de inacurácia e refazer a calibração. Além de permitir a inspeção visual cuidadosa do participante, o que resulta no aceite de informações que correspondem verdadeiramente à estabilidade visual do participante. Em contrapartida, o efeito de latência da resposta, desde o aceite da calibração até a execução da resposta motora, pode ser longo demais sendo que no momento do aceite do ponto o participante possa já ter mudado o olhar de posição. Além disso, a inspeção controlada pelo examinador requer mais experiência por parte dele e torna a calibração um procedimento mais lento.

Por outro lado, na *calibração controlada pelo participante*, esse é instruído pelo examinador de que ele deve olhar um alvo e quando o visualizar cabe a ele próprio a tarefa de apertar o botão de modo a confirmar que estava olhando fixamente para ele. As vantagens desse método são a de que o próprio participante tem o controle da qualidade do resultado de sua participação. Por outro lado, a calibração depende do bom entendimento do participante, e, portanto, essa metodologia não pode ser aplicada em todos os participantes.

Em suma, o “eyetracker” pode ser uma poderosa ferramenta de registro de movimentação ocular para auxiliar a avaliação de processos cognitivos. No entanto, é

importante ressaltar que sua utilização nem sempre é indispensável e, portanto, sua aplicação nos estudos científicos deve ser adotada com a consciência de efeitos de sua utilização (i.e., redução de mobilidade do participante). Ressalta-se ainda que a fidedignidade dos dados obtidos a partir dessa ferramenta depende não somente da escolha compatível do aparelho em relação ao estudo, mas também do tratamento dos dados adquiridos.

### 3.7.2. O tratamento dos dados

As possibilidades de tratamento de dados do olhar são inúmeras. Em geral, é possível dividi-las em análises quantitativas e qualitativas. A primeira análise traduz numericamente o comportamento ocular e geralmente, as variáveis adotadas são: número de fixações, duração total das fixações, duração da primeira fixação, tempo médio de duração das fixações, porcentagem de palavras puladas, quantidade de regressões ou revisitações. A segunda análise evidencia padrões de movimentação ocular, dando noções palpáveis de tempo e espaço. Dentre eles é possível citar: mapas de calor (“*heatmaps*”), definição e distribuição do olhar em AOI e “caminho do olhar” (“*scanpath*”). As variáveis quantitativas e suas respectivas definições podem ser acessadas no Quadro 7 e as qualitativas no Quadro 8.

**Quadro 7. Variáveis mais utilizadas na avaliação quantitativa da movimentação ocular relacionada à leitura.**

Variáveis	Definição
<b>Fixações</b>	
Duração total das fixações	Tempo total da duração de todas as fixações durante a tarefa
Duração da primeira fixação	Tempo da duração da primeira fixação. No caso da leitura, essa variável é muito importante, uma vez que indica o grau de dificuldade no processamento de determinado estímulo, nesse caso em específico, a palavra.
Tempo médio de duração das fixações	Média da duração da fixação considerando todas fixações realizadas durante a tarefa.

Porcentagem de palavras puladas	Proporção de palavras que não foram fixadas em relação à quantidade de palavras que receberam, pelo menos, uma fixação
<b>Sacadas</b>	
Quantidade de regressões ou “revisitações”	Quantidade de sacadas que foram feitas da direita para à esquerda, tendo-se como referência a leitura realizada da esquerda para a direita. No caso da leitura, pode ser interpretado como a dificuldade em se processar uma determinada palavra.
Amplitude da sacada	Distância da sacada em termos de quantidade de caracteres
Amplitude da regressão	Distância da sacada que foi feita da direita para a esquerda, em termo de quantidade de caracteres

**Quadro 8. Variáveis mais utilizadas na avaliação qualitativa da movimentação ocular relacionada à leitura.**

Variáveis	Definição
Mapas de calor ou “ <i>heatmaps</i> ”	Mostram a distribuição do posicionamento do olhar através de um mapa de cores, no qual cores quentes (vermelho, amarelo, etc) representam regiões mais fixadas e de modo contrário, em cores frias (azul, verde, etc) regiões de menos interesse.
Áreas de interesse ou “ <i>Areas of Interest</i> ” (AOI)	São regiões delimitadas de acordo com a área de interesse de estudo. Após a delimitação dessas regiões as distribuições do número e duração de fixações para cada AOI são extraídas posterior tratamento.
Caminhos do olhar ou “ <i>scanpath</i> ”	Representa de forma temporal seriada o posicionamento de sacadas e fixações durante a execução da tarefa.

### **3.8. Viéses associados com o uso do comportamento ocular como um indicador de processos cognitivos**

O primeiro conceito que se deve ter em mente antes de se iniciar o estudo associativo entre a movimentação ocular e a leitura é de que diversas variáveis podem ser avaliadas. A leitura é um processo dinâmico, em que tanto as características físicas do texto (e.g. fonte utilizada, tamanho de letra, distância entre leitor e texto - implicando em tamanho angular específico) quanto as psicolinguísticas (e.g. regularidade ortográfica, tipo de texto avaliado – palavras isoladas, sentenças ou texto contextual -, leitura em voz silenciosa ou alta), bem como as intrínsecas ao participante (e.g. idades cronológica e lexical, com presença ou ausência de distúrbios de aprendizagem) podem interferir no desempenho de leitura, e conseqüentemente, no rastreamento ocular.

Essa grande variedade de fatores possibilita a integração de diversas áreas de estudo, resultando em vasta diversidade de estudos que utilizam uma miríade de metodologias. Porém, se por um lado a variedade enriquece o conhecimento a respeito da leitura e movimentação ocular, por outro, ainda há certa dificuldade em se fazer afirmações comparativas entre trabalhos devido à falta de quantidade de trabalhos que repliquem uma ou outra metodologia.

### **3.8.1. A tarefa de leitura (palavras, sentenças ou textos)**

Uma das principais fontes de divergência entre os estudos que lidam com rastreamento ocular e leitura está no tipo de tarefa que deve ser apresentada ao leitor. Não são raras as vezes em que resultados encontrados para a leitura de palavras são extrapolados para o processo de leitura de sentenças ou textos. No entanto, como será visto adiante, a leitura é modificada por diversos efeitos que estão relacionados à leitura de sentenças ou textos, e não somente palavras.

Na leitura de palavras isoladas, é possível restringir os achados sobre a movimentação ocular aos efeitos intrínsecos de frequência lexical e extensão da palavra. Ao estudar a leitura de palavras isoladas<sup>5</sup>, MacKeben et al. (2004) reportaram que leitores disléxicos efetuam ajustes na amplitude de sacadas apenas para palavras acima de 5

---

<sup>5</sup> Nesse caso, as palavras foram apresentadas isoladamente, no entanto, em um paradigma conhecido como “single-word reading paradigma” em que palavras são apresentadas isoladamente, no entanto, cada uma delas faziam parte de um texto.

letras. Não é possível afirmar se essa falta de habilidade dos disléxicos em ajustar a amplitude das sacadas indica um problema no controle oculomotor causado por um déficit magnocelular ou se palavras de maior extensão simplesmente são mais difíceis de serem processadas. Em um outro estudo, os autores resolveram expandir a tarefa de leitura e avaliaram a movimentação ocular durante diferentes tipos de estímulos de leitura (pseudopalavras, palavras e textos) para o idioma alemão (Krieger et al. 2016). Os resultados demonstraram que melhores desempenhos de leitura estão associados com o aumento da eficiência na movimentação ocular, e que estão primariamente relacionados aos parâmetros espaciais de leitura como a quantidade de fixações por palavra, número total de sacadas e amplitude de sacadas. Além disso, os autores apontam que a velocidade de leitura é um preditor mais confiável dos parâmetros de movimento ocular do que o uso da medida de compreensão de leitura. A compreensão plena de uma sentença depende da capacidade dos leitores de antecipar expressões e de realizar inferências de forma que essa sentença seja coerente com o discurso precedente (Liversedge, 2000).

Sabe-se que o rastreamento ocular é afetado não somente pelas características inerentes a palavra que está sendo fixada, mas também pela relação entre essa palavra e o texto precedente (Dufft, Morris, & Rayner, 1988, Morris, 1994). Além disso, uma vez que os leitores pré-processam o texto à direita da palavra que está sendo fixada, qual então seria o tipo de informação que está sendo extraída previamente. Ao usar o método de “*contingent change boundary*” (para revisão veja o trabalho de Rayner, 1975a) é possível determinar quais informações são extraídas de palavras que se encontram periféricamente antes dessas serem fixadas. Segundo os estudos que utilizaram essa metodologia, sabe-se que informações visuais como a extensão da palavra e o formato da letra são extraídas durante esse pré-processamento (Henderson, Weeks, & Hollingworth, 1999). Se por um lado, o pré-processamento de características físicas do texto são bem descritas e aceitas, informações relacionadas ao pré-processamento semântico (i.e., extração da informação sobre o significado da palavra) ainda continuam controversas. Vários estudos demonstraram que a extração do significado da palavra não ocorre parafovealmente. No entanto, outros estudos apontam que a duração da fixação em uma palavra é afetada pela sua relação semântica com as palavras localizadas parafovealmente. O que significaria, portanto, que tanto as palavras encontradas fovealmente e parafovealmente devem ser semanticamente processadas (Inhoff & Rayner, 1986 a,b ; Murray & Rowan, 1998).

### **3.8.2. Características visuais e lexicais das palavras (tamanho da palavra e sua frequência lexical)**

O estudo de Sardeira e Pereira (2015) investigou a movimentação ocular de escolares menos (2ª série) e mais experiente (4ª série) durante a leitura de palavras e pseudopalavras no idioma português europeu (PE). Resultados apontam diferenças significativas entre os grupos para as variáveis tempo médio e o total de fixações para palavras muito frequentes. A relevância desse estudo consiste não somente em representar uma base de referência para o estudo da movimentação ocular com a língua portuguesa, além disso, explicita claramente que leitores mais experientes tendem a realizar movimentos oculares mais efetivos, e, portanto, há uma menor influência da frequência lexical, do tamanho de palavras e de regularidade ortográfica

### **3.8.3. A experiência do leitor: normo-leitores e disléxicos**

Em estudos de movimentação ocular durante leitura, as variáveis geralmente medidas são: duração média da fixação, tamanho médio da amplitude do movimento sacádico, número total de fixações, número de regressões e velocidade de leitura (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978). Nem todas essas medidas são independentes uma das outras. Por exemplo, o produto do número de fixações e seu tempo médio de duração é igual ao tempo necessário para ler o texto, que por sua vez é uma medida inversa da velocidade da leitura. Quanto maior o tempo necessário para a leitura, menor a velocidade da mesma e vice-versa. Dessa relação, advém uma consequência importante: se um leitor aumenta sua velocidade de leitura em 10%, por exemplo, provavelmente houve uma redução de 10% no número e/ou na duração das fixações (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978). A maior parte dos autores concordam que o tempo de fixações se torna estável a partir dos 10 anos de idade, momento esse no desenvolvimento infantil em que o comportamento ocular poderia ser comparado ao de adultos (Buswell, 1920, Lesèvre, 1976, Taylor, 1960). Anteriormente à essa idade, ainda há falta de consenso sendo que alguns autores apontam um aumento na duração das fixações (Lesèvre, 1968), enquanto outros uma diminuição (Spragins, 1976, Taylor, 1960) (Buswell, 1920).

Estudos indicam que durante a leitura leitores experientes fazem menos fixações, com tempo de duração mais curto, sacadas de maior amplitude e poucas regressões (Rayner, Slattery, & Bélanger, 2010, Everatt & Underwood, 1994). Adicionalmente, leitores experientes fazem menos fixações por linha, menos regressões, e muitas vezes a duração das fixações está reduzida. Ressalta-se que a velocidade de leitura não está essencialmente limitada pela capacidade óculo-motora, mas sim por fatores cognitivos e esses estão estritamente relacionados à motivação do leitor. Leitores eficientes são essencialmente caracterizados pelo fato de fazerem um melhor uso do contexto para compreender o material que consomem (Morton, 1964), lhes permitindo aumentar o “campo visual eficaz” e espaçando melhor suas fixações. Uma melhor antecipação do texto que está por vir facilita o trabalho de decifrar o texto visto liberando recursos atencionais para que se concentrem em estímulos a seguir (Marcel, 1974).

Sardeira e Pereira (2015) avaliaram a movimentação ocular e o desempenho de leitura em voz alta de palavras e pseudopalavras do idioma Português Europeu (PE) entre leitores iniciantes (2ª série) e mais experientes (4ª série). Os autores reportaram diferença significativa entre grupos para as variáveis tempo médio e total das fixações para palavras muito frequentes, tempo médio de fixação para palavras regulares e amplitude média da sacada para pseudopalavras irregulares. Portanto, os resultados demonstram que leitores mais experientes do idioma português tendem a realizar movimentos oculares mais efetivos mitigando a influência da frequência de palavras, regularidade e tamanho.

A leitura tem sido estudada não somente em leitores experientes, mas também em sujeitos com dificuldades de leitura. Além da análise da velocidade de leitura, acurácia e/ou compreensão de texto, a análise da movimentação ocular tem sido cada vez mais utilizada (Rayner, 1998), incluindo em estudos com a população disléxica. Hutzler e Wimmer (2004) revelaram que disléxicos apresentaram fixações mais longas e em maior quantidade, mas menos regressões do que não-disléxicos durante a leitura de textos (em alemão, regularidade ortográfica). Em outro estudo com o idioma alemão (Trauzettel-Klosinski et al., 2010), o grupo disléxico apresentou adicionalmente velocidade de leitura reduzida, e maior número de sacadas e regressões. Além disso, os autores também observaram aumento na quantidade de fixações (mas não sua duração) para ambos grupos quando se aumentou a dificuldade do texto, sendo o aumento mais pronunciado para o grupo disléxico. Além de explorar as variações da movimentação ocular em função das características do texto, do

leitor e sua atitude em relação ao texto, pesquisadores também estudaram ajustes locais que os olhos fazem em função de determinadas características textuais. Alguns trabalhos sugerem que a cada instante, os olhos tem a capacidade de se adaptarem às necessidades de processamento psicolinguístico em curso, e que o tamanho das sacadas e a duração das fixações que ocorrem em lugares precisos do texto refletem assim as operações cognitivas durante a leitura (O'Regan & Lévy-Schoen, 1978).

#### **3.8.4. “Layout” e seus efeitos na movimentação ocular: o tamanho de letra, a fonte e o espaçamento entre letras.**

O desempenho de leitura não depende somente de requisitos visuais dos leitores (abordado na seção 3.3.), mas dependem também de fatores externos pertinentes às características da tarefa como, por exemplo, o tamanho da fonte (Chung, Mansfield, & Legge, 1998, O'Brien et al., 2005), o tipo de fonte (Mansfield, Legge, & Bane, 2016), o contraste (O'Brien, Mansfield, & Legge, 2005) e o espaçamento entre letras (Perea, Giner, Marcet, & Gomez, 2016, Zorzi et al., 2012). Desse modo, a capacidade visuo-perceptual do leitor bem como as características do texto interagem e afetam o desempenho da leitura.

O estudo do efeito do tamanho de letra pode ser analisado sob duas perspectivas diferentes e que utilizam do mesmo fenômeno gráfico-visual (Legge & Bigelow, 2011). A primeira abordagem se dá a partir do ponto de vista tipográfico, em que a relação entre forma, tamanho e caracteres tem um significado puramente estético. Por outro lado, a abordagem das ciências visuais visa compreender como o estudo da forma, padrões, linhas, pontuações e fonte são mais do que representações tipográficas, são ferramentas textuais que podem facilitar e otimizar a leitura.

Desde 1905, Javal já apresentava resultados relacionados à movimentação ocular e diversos tipos de luminosidade, tipografia, e do layout do conteúdo abordado (Javal, 1905). O espaçamento entre as palavras aparece como um fator importante; textos em que esses espaços são apagados ou preenchidos são lidos mais lentamente do que aqueles em que o espaçamento foi mantido (Spragins, Lefton, & Fisher, 1976). Além disso, Spragins et al. (1976) mostraram que o contorno geral de uma palavra também pode interferir (i.e., textos compostos apenas de letras maiúsculas ou de uma alternância entre letras maiúsculas e minúsculas são também lidos mais lentamente). Nos dois casos, observa-se um aumento

do número de fixações e um leve prolongamento do tempo de fixações. Joseph, Liversedge, Blythe, White, e Rayner (2009) ao investigar o efeito do tamanho das palavras no comportamento ocular de crianças e adultos encontraram que em crianças o efeito do tamanho da palavra é maior do que em adultos (i.e., crianças exibiram maior número de fixações, com durações mais longas e número maior de refixações).

Em um estudo para identificar a distância máxima no campo visual periférico em que o espaçamento entre palavras ainda tem efeito na leitura, McConkie e Rayner (1975) apresentaram textos que dependiam do comportamento ocular do leitor: os caracteres apresentados na tela eram modificados em função da posição do olhar a cada instante. A modificação consistia em apagar o texto presente na visão periférica, porém mantendo intacta a porção encontrada na visão central. Quando os espaços entre as letras que se localizavam fora dessa “janela” virtual (que se movimenta junto com os olhos), eram preenchidos, observou-se que o tamanho de sacadas longas diminui. Esse efeito é ainda mais forte quando a “janela” é menor, ou seja, quando os espaços próximos da visão central são preenchidos. Esse efeito desaparece com uma janela de 12 letras à direita do ponto de fixação, levando os autores sugerir que informações a 12 letras distantes do centro de fixação não são utilizadas.

Estudos também demonstraram que um espaçamento aumentado entre letras tem efeito facilitador no desempenho de leitura (i.e. maior VL e melhor compreensão leitora) de crianças disléxicas, efeito esse não observado em crianças normo-leitoras (Perea, Panadero, Moret-Tatay, & Gómez, 2012, Zorzi et al., 2012). Ainda indicativo de que tanto a manipulação de espaçamento entre letras quanto a do espaçamento entre palavras influenciam no comportamento de leitura, Slattery e Rayner (2013) demonstraram a partir da movimentação ocular que o aumento do espaçamento entre palavras combinado com a diminuição do espaçamento entre letras facilitaram a leitura. Os achados desse estudo corroboram com o modelo de controle da movimentação ocular, “*E-Z reader*” (Pollatsek et al., 2006). Nesse modelo, a maior parte do processamento lexical associado com uma dada palavra ocorre enquanto ela está sendo fixada. Desse modo, enquanto a palavra está sendo fixada, os efeitos do “*crowding*” são mínimos, uma vez que a excentricidade é mínima. No entanto, esse modelo também assume que o processamento de baixa frequência espacial no texto ocorre em uma grande área e serve como guia para o planejamento sacádico. Assim sendo, esse processamento deveria se beneficiar do aumento do espaçamento entre

as palavras pois facilitaria a segmentação entre palavras. Ao contrário, o modelo SWIFT assume que o processamento lexical pode ocorrer de modo paralelo, com grande parte do processamento acontecendo na visão parafoveal. Por isso, os achados do estudo de Slattery e Rayner (2013) não podem ser aproximados a esse modelo serial, uma vez que o espaçamento entre as letras aumentaria o efeito “*crowding*” para as palavras na região parafoveal, e portanto, reduziria a habilidade do leitor em reconhecer e processar lexicalmente as palavras localizadas na parafovea.

### **3.8.5. As instruções sobre a tarefa**

Além de fatores intrínsecos ao texto mencionados anteriormente, outros fatores, como a instrução dada ao leitor antes do início da leitura parece também modificar o comportamento durante a leitura, e, por conseguinte, o padrão de rastreamento ocular. Kaakinen e Hyönä (2010) investigaram como instruções para a realização da tarefa de leitura poderiam influenciar o processamento ortográfico e léxico-semântico, manipulando respectivamente, a extensão da palavra e sua frequência. Para isso, dois tipos de instruções foram dados, a primeira, leitores deveriam ler com objetivo de encontrar palavras com erros ortográficos. A segunda, leitores foram informados que ao final da leitura questões sobre a compreensão do texto seriam aplicadas. Como era de se esperar, as instruções para a realização da tarefa implicaram tanto em mudanças temporais quanto espaciais na movimentação ocular. Durante a tarefa de leitura de checagem de erros ortográficos verificou-se que a posição de aterrissagem do olhar foi deslocada para a esquerda, a extensão dos movimentos sacádicos foi menor, a duração da primeira fixação e fixações subseqüentes foram mais longas e aumentou-se a probabilidade de refixação quando comparada com a tarefa de leitura acompanhada de questões de interpretação de texto. De modo semelhante, outro estudo demonstrou que os efeitos de frequência da palavra só pode ser observado no rastreamento ocular quando a leitura for realizada com objetivo de compreensão textual (Rayner & Raney, 1996).

A partir do embasamento teórico detalhadamente descrito nos capítulos de Fundamentações Teóricas, foi possível delinear os procedimentos metodológicos dos Estudos 1 e 2. Observar-se-á que no primeiro estudo, a escolha de uma tabela padronizada

permitiu que a manipulação do "layout" fosse objeto do estudo, a partir das FVL e desempenho de leitura. Por outro lado, no segundo estudo, a perspectiva foi avaliar os efeitos do layout do texto de forma mais ecologicamente válida, e, portanto, a escolha do estímulo veio de um texto padronizado para a avaliação de disléxicos, ao invés de sentenças com quantidade de caracteres fixos como utilizadas no Estudo 1.

## **4. A) METODOLOGIA – ESTUDO 1**

### **4.1. Participantes**

Participaram voluntariamente desse estudo, 18 indivíduos normo-leitores e 24 disléxicos, com diferença de AV interocular menor do que 3 linhas, AV binocular melhor ou igual a 0.3 logMAR e sem antecedentes oftalmológicos (e.g., estrabismo ou cirurgia prévia). Todos os 18 participantes do grupo controle (M = 23.67 anos, DP = 8.84) foram considerados aptos para participação no experimento. No grupo disléxico, 4 dos 24 participantes foram incapazes de realizar a tarefa de leitura do experimento 1, sendo, portanto, analisados os dados de 20 participantes (M = 15.05 anos, DP = 6.55),

Todos os participantes, ou seus responsáveis legais, assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) previamente a coleta de dados. Essa pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo (CEP-597982/2015) e ambos experimentos realizados no Laboratório de Bioengenharia Ocular no Departamento de Oftalmologia e Ciências Visuais – Unifesp.

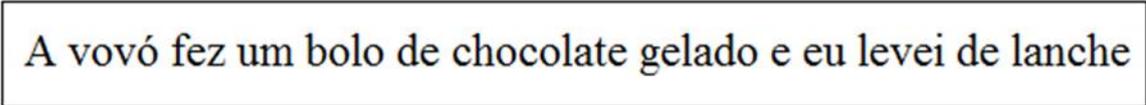
### **4.2. Aparelhagem e Desenho Experimental**

No estudo 1, a tabela de leitura MNREAD (adaptada para português brasileiro MNREAD-P - tabela comumente usada na avaliação para adaptação de auxílios ópticos em pacientes com baixa visão) foi transformada e apresentada em formato digital. Dois

formatos de tabela foram apresentados aos participantes de forma randômica e contrabalanceada:

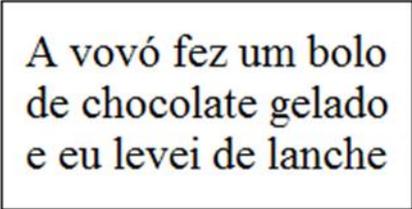
1. MNREAD – P1L - sentença apresentada em somente uma linha (Figura 13),
2. MNREAD – P3L - sentença distribuída e apresentada em 3 linhas diferentes (Figura 14).

Cada formato de tabela consiste de 13 tentativas com sentenças diferentes, porém equivalentes em dificuldade (de Castro, Kallie, & Solamão, 2005). Das 13 tentativas, as 2 iniciais foram tentativas de familiarização de tamanho 1.0 logMAR, e as 11 tentativas experimentais subsequentes apresentavam tamanhos de fonte variando entre 0.0 a 1.0 logMAR, apresentadas de forma decrescente (i.e., do maior, 1.0 logMAR, para o menor, 0.0 logMAR). A variação de tamanho foi de 0.1 logMAR por tentativa, e adotada a fonte Times New Roman.



A vovó fez um bolo de chocolate gelado e eu levei de lanche

**Figura 13. Representação de uma sentença da MNREAD-P1L.**



A vovó fez um bolo  
de chocolate gelado  
e eu levei de lanche

**Figura 14. Representação de uma sentença da MNREAD-P3L.**

A apresentação dos estímulos foi realizada via software de experimentos psicofísicos, o PsychoPy (versão 1.82) em um monitor LCD de 19" (HP Compaq LA1951g, 1280x1024 resolução de 75Hz).

### **4.3. Procedimentos**

Antes dos testes de leitura, cada participante teve sua AV monocular e binocular analisada utilizando a Tabela "Lea Numbers Near Vision Card" (Referência 251000) em formato físico (i.e., impresso em um quadro de poliéster 20.3cm x 25.4cm). O teste da AV

foi realizado na mesma distância do teste de leitura, a 40cm entre o olho do participante e o estímulo.

No estudo 1, a tarefa consistiu na leitura da tabela MNREAD-P nos dois formatos, MNREAD – P1L e MNREAD – P3L. A leitura dos dois formatos de tabela, MNREAD-P1L e MNREAD-P3L, foi feita de forma randomizada e contrabalanceada entre grupos. Antes do início da tarefa de leitura em ambos experimentos, todos os participantes receberam as mesmas instruções sobre cada tabela e tarefa a ser realizada:

1. MNREAD-P1L: “Várias frases serão apresentadas, uma de cada vez. Cada frase é apresentada em uma única linha. Você deverá ler as frases em voz alta, como lê normalmente. Após você ter acabado de ler uma sentença, é apresentada uma estrela de fixação, você deve olhá-la para que a próxima sentença apareça na tela.”
2. MNREAD-P3L: “Várias frases serão apresentadas, uma de cada vez. Cada frase é apresentada em três linhas. Você deverá ler as frases em voz alta, como lê normalmente. Após você ter acabado de ler uma sentença, é apresentada uma estrela de fixação, você deve olhá-la para que a próxima sentença apareça na tela.”

#### **4.4. Análise de dados**

Em uma primeira etapa, foram identificados os valores de cada uma das Funções Visuais de Leitura (FVL, i.e., máxima velocidade de leitura, tamanho crítico de letra e acuidade de leitura) e calculados o desempenho de leitura (i.e., acurácia e velocidade média de leitura) para cada um dos participantes.

Com relação as FVL, foi-se adotada metodologia típica descrita na literatura (Calabrèse et al., 2016, Mansfield, Legge, & Bane, 1996). A partir dessa metodologia, é possível identificar valores correspondentes a máxima velocidade de leitura, ao tamanho crítico de letra (i.e., menor tamanho de letra em que se é mantida a velocidade média de leitura) e a acuidade de leitura (i.e., menor tamanho de letra que o participante consegue ler) a partir da construção de gráficos individuais da velocidade de leitura em função do tamanho de letra. Os critérios para definição desses 3 parâmetros foram definidos de

acordo com a representação. O gráfico apresenta curva típica caracterizada pelos 3 valores das FVL:

1. máxima velocidade de leitura (VML). Ponto na curva em que a velocidade de leitura permanece constante, formando um platô e caracterizada por tamanhos de letra grandes;

2. tamanho crítico de letra (TCL). Momento a partir do qual a velocidade de leitura reduz drasticamente em função da redução do tamanho de letra;

3. acuidade de leitura (AL). Definida a partir do menor tamanho de letra que pode ser lido.

Com relação ao desempenho de leitura, calculou-se acurácia (AC) e velocidade de leitura (VL) de cada participante para todas condições de tamanho de letra em que tarefa foi completada (1.0 – 0.1 logMAR) (e para ambas as tabelas no experimento 1). A acurácia foi calculada a partir da quantidade de palavras lidas corretamente (QPLC) em relação à quantidade de palavras apresentadas (QPA), detalhada na Equação 1.

$$AC = 1 - Q^{PLC} / Q^{PA}$$

**Equação 1. Cálculo da acurácia de leitura para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L.**

A velocidade de leitura foi medida em palavras por minuto (ppm), calculada a partir da quantidade de palavras verbalizadas (QPV) pelos participantes (sendo consideradas inserções, omissões e substituições de palavras) em função do tempo necessário para leitura (t), maiores detalhes na Equação 2.

$$v = \frac{Q^{PV}}{t}$$

**Equação 2. Cálculo para velocidade de leitura das tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L.**

Em uma segunda etapa, logo após identificados e calculados os valores das FVL e desempenho de leitura, todos os valores foram submetidos a tratamento estatístico. As FVL (i.e., VML, TCL e AL) foram submetidas de forma independente a 2 (grupo: controle,

disléxicos) por 2 (tabela: MNREAD-P1L, MNREAD-P3L) Análises de Variância com Medidas Repetidas (ANOVA-RM) no último fator; enquanto que as variáveis de desempenho de leitura (acurácia e velocidade) foram submetidas de forma independente a 2 (grupo: controle, disléxicos) por 2 (tabela: MNREAD-P1L, MNREAD-P3L) por 6 (tamanho de letra<sup>6</sup>: logMAR 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0) ANOVA-RM nos dois últimos fatores.

Adicionalmente foram feitas avaliações utilizando o aprendizado de máquina (em inglês, “*machine learning*”) (Haykin, 1998). Mais precisamente, para o reconhecimento de padrões, foi utilizado o “algoritmo de mapas auto-organizáveis” em inglês, “*self-organized map*” (SOM) (Bishop, 2007) que separa os dados em agrupamentos (em inglês, “*clusters*”). De modo a melhor compreender o comportamento de cada um deles foi utilizado ainda um algoritmo de árvore de decisão, cuja função é criar uma sequência de regras para separar os dados de acordo com um objetivo (no caso desse trabalho, realizar a identificação de padrões através dos agrupamentos). Nos testes de agrupamento com “SOM” foi utilizado como modelo um gráfico hexagonal onde cada hexágono representa um agrupamento de sujeitos onde está representado como grupo controle se houver mais normo-leitores (azul) e como grupo disléxico (laranja) se houver menos normo-leitores; no caso de empate, a representação se dá pela cor amarela. As árvores de decisão foram utilizadas com objetivo de entender o comportamento dos agrupamentos e foram representadas com cada nó contendo a variável que será analisada e os valores de separação nas linhas que seguem para os próximos nós. Os resultados são apresentados com o nome do agrupamento no qual a resposta está associada e com quantos erros e acertos a árvore obteve, sendo o valor zero representação de nenhum erro, e, por conseguinte, 100% de acurácia.

## **5. A) RESULTADOS – ESTUDO 1**

### **5.1. Resultados: Estudo 1 – Tabelas MNREAD-P**

#### **5.1.1. Funções visuais de leitura (FVL)**

---

<sup>6</sup> As condições de tamanho de leitura incluídas na ANOVA-RM foram determinadas a partir da AL em que todos os participantes finalizaram a tarefa de leitura.

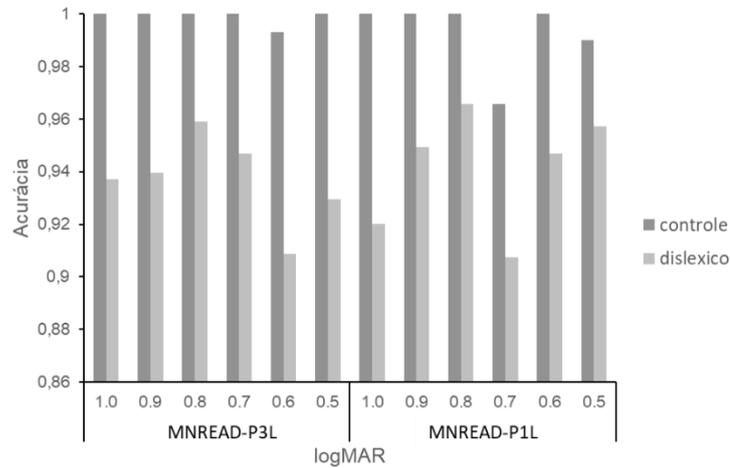
Na Tabela 1, encontra-se análise estatística descritiva das FVL. Para a máxima velocidade de leitura (VML), a ANOVA-RM revelou diferenças significativas somente para o fator grupo,  $F_{(2,37)} = 28.22$ ,  $p < 0.0001$ . Não houve diferenças significativas para fator tabela  $F_{(2,37)} = 0.12$ ,  $p > 0.05$  nem para interação grupo\*tabela  $F_{(2,37)} = 0.14$ ,  $p > 0.05$ . Para o tamanho crítico de letra (TCL), a ANOVA-RM revelou diferenças significativas para os fatores grupo,  $F_{(2,37)} = 2.68$ ,  $p = 0.01$  e tabela  $F_{(2,37)} = 58.68$ ,  $p < 0.0001$ . Não houve diferença para interação grupo\*tabela  $F_{(2,37)} = 0.59$ ,  $p > 0.05$ . Finalmente, para a acuidade de leitura (AL), a ANOVA-RM revelou diferenças significativas para grupo,  $F_{(2,37)} = 11.45$ ,  $p = 0.002$  e para interação grupo\*tabela  $F_{(2,37)} = 5.64$ ,  $p = 0.02$ . Não houve diferença para fator tabela  $F_{(2,37)} = 1.96$ ,  $p > 0.05$ .

**Tabela 1. Médias (e Desvios Padrão) das variáveis máxima velocidade de leitura (VML), tamanho crítico de letra (TCL) e acuidade de leitura (AL) para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L para os grupos controle e disléxicos.**

Grupo	MNREAD-P1L			MNREAD-P3L		
	VML	TCL	AL	VML	TCL	AL
Controle	229.0 (34.5)	0.30 (0.14)	0.25 (0.10)	228.9 (36.4)	0.50 (0.16)	0.19 (0.10)
Disléxico	141.3 (64.1)	0.36 (0.15)	0.34 (0.14)	143.5 (59.9)	0.58 (0.17)	0.35 (0.13)

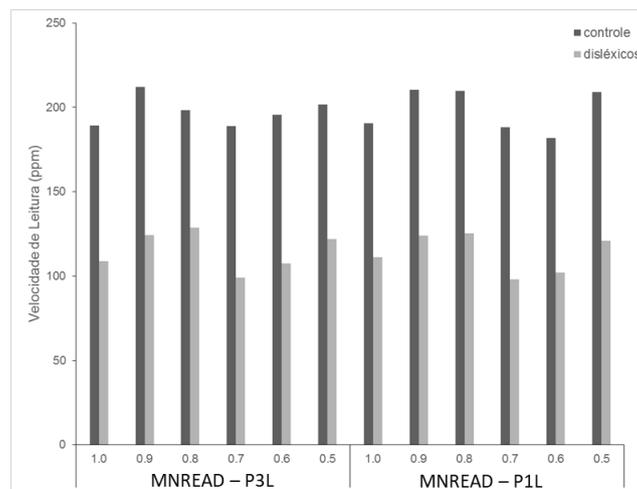
### 5.1.2. Desempenho de leitura

*Acurácia* (Figura 15): ANOVA-RM revelou diferenças significativas somente para grupo  $F_{(1,36)} = 16.44$ ,  $p < 0.0001$ . Nenhuma diferença significativa para tamanho de letra  $F_{(5,36)} = 1.4$ ,  $p > 0.05$  nem para tabela  $F_{(1,36)} = 0.07$ ,  $p > 0.05$ . O grupo controle na média apresentou melhor acurácia ( $M = 0.98$ ,  $DP = 0.01$ ) do que o grupo disléxico ( $M = 0.94$ ,  $DP = 0.01$ ).



**Figura 15. Acurácia média dos grupos controle e disléxicos para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L com tamanho de letra logMAR 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 e 0.5.**

*Velocidade de leitura* (Figura 16): A ANOVA-RM revelou diferenças significativas para grupo  $F_{(2,37)} = 29.61$ ,  $p < 0.0001$  e tamanho de letra (logMAR)  $F_{(5,37)} = 16.71$ ,  $p < 0.0001$ . No entanto, não houveram diferenças significativas para o fator tabela  $F_{(1,37)} = 0.45$ ,  $p > 0.05$  e quaisquer interações. O grupo controle na média leu mais palavras por minuto ( $M=197.99$ ,  $DP= 11,06$ ) do que o grupo disléxico ( $M= 114.99$ ,  $DP = 10.49$ ). Independente de grupo e tabela, participantes leram significativamente mais rápido para tamanhos de fontes logMAR 0.9 ( $M = 164.4$ ,  $DP = 68.2$ ), logMAR 0.8 ( $M = 162.5$ ,  $DP = 63.3$ ) e logMAR 0.5 ( $M = 160.7$ ,  $DP = 69.8$ ) quando comparados aos tamanhos logMAR 1.0 ( $M = 146.8$ ,  $DP = 64.1$ ;  $5.45 > t_{(77)} > 3.35$   $p < 0.01$ ), logMAR 0.7 ( $M = 140.6$ ,  $DP = 66.1$ ;  $6.42 > t_{(77)} > 5.19$   $p < 0.001$ ), logMAR 0.6 ( $M = 144.1$ ,  $DP = 63.2$ ;  $5.8 > t_{(77)} > 4.4$   $p < 0.001$ ).



**Figura 16. Média das velocidades de leitura (ppm) dos grupos controle e disléxicos para as tabelas MNREAD-P1L e MNREAD-P3L com tamanho de letra logMAR 1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 e 0.5.**

### 5.1.3. Redes neurais

*MNREAD-PL1*: O algoritmo SOM foi usado como ferramenta identificadora dos grupos de normo-leitores e disléxicos. Em uma primeira análise, utilizando uma topologia neuronal de 4 “clusters” (2x2) e as variáveis idade, MVL, AL, LMVL, os seguintes resultados são encontrados na Figura 17. A árvore de decisão utilizada é apresentada na Figura 18. Em uma segunda análise com a utilização das variáveis citadas anteriormente, com exceção da idade, gera um agrupamento de neurônios como o representado na Figura 19 e sua árvore de decisão representada pela Figura 20.

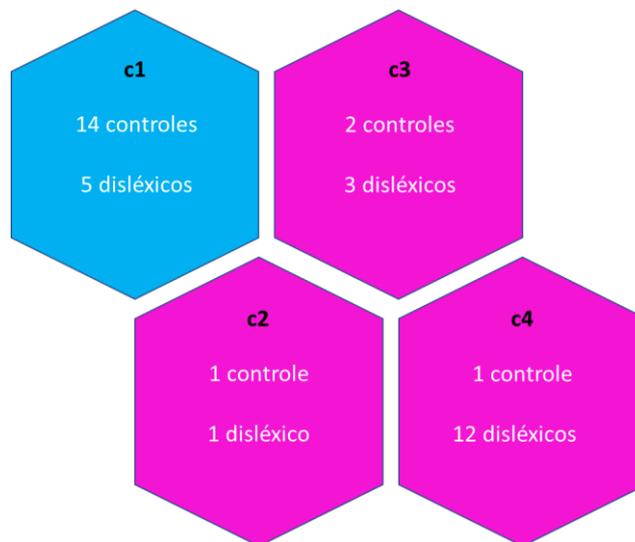


Figura 17. Representação da rede de neurônios de “cluster” 2x2 para MNREAD-P1. Análise 1. c1 (cluster controle), c2 (cluster disléxico), c3 (cluster disléxico) e c4. (cluster disléxico).

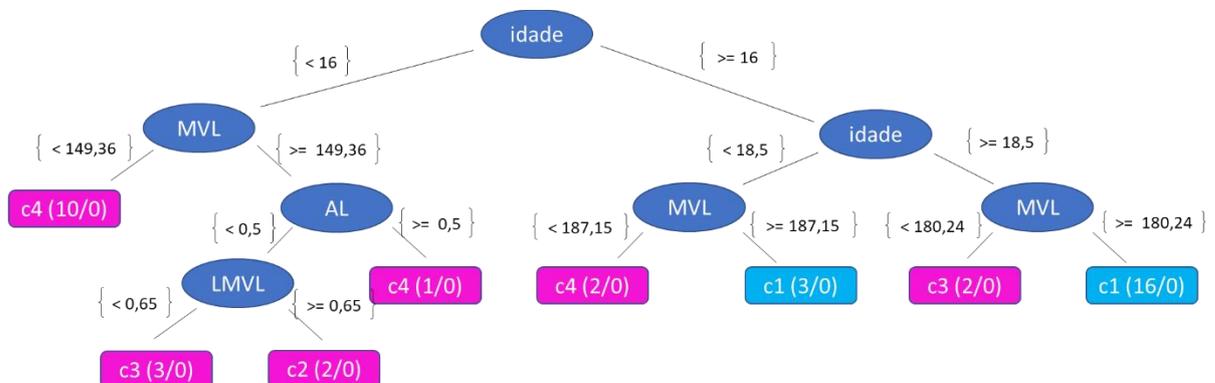


Figura 18. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios “cluster” 2x2 para MNREAD-P1. Análise 1.

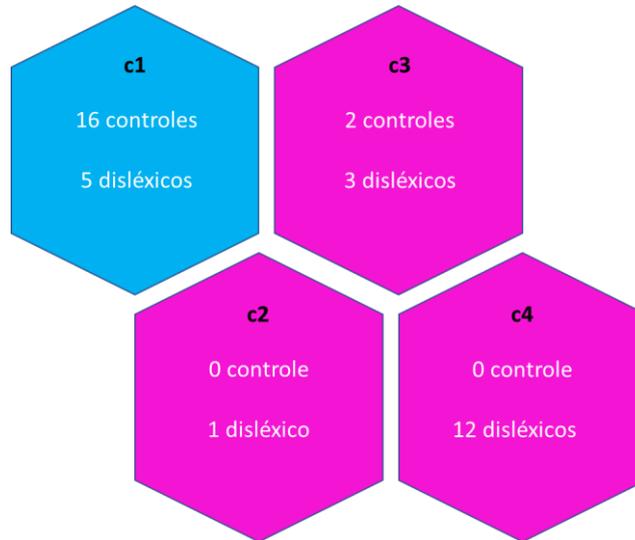


Figura 19. Representação da rede de neurônios de "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 2. c1 (cluster controle), c2 (cluster disléxico), c3 (cluster disléxico) e c4 (cluster disléxico).

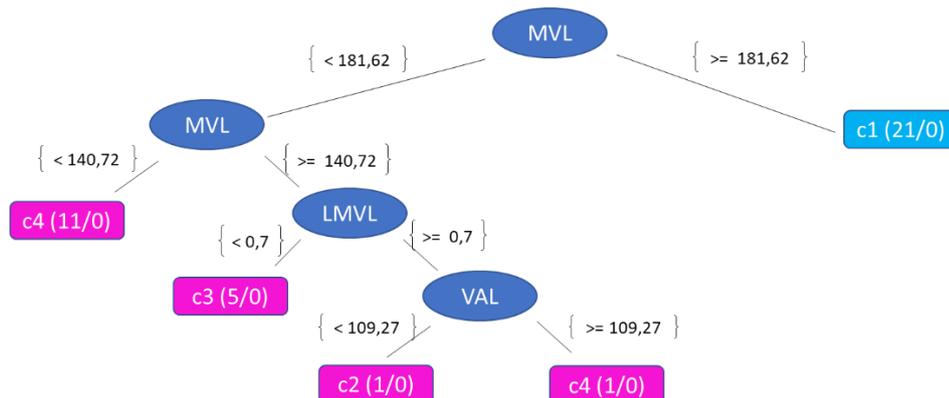


Figura 20. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios "cluster" 2x2 para MNREAD-P1. Análise 2.

*MNREAD-PL3*: O algoritmo SOM foi usado como ferramenta identificadora dos grupos de normo-leitores e disléxicos. Em uma primeira análise, utilizando uma topologia neuronal de 4 "clusters" (2x2) e as variáveis Máxima Velocidade de Leitura (MVL), Linha correspondente à máxima velocidade de leitura (LMVL), Acurácia no Tamanho Crítico de letra (ATCL), TCL, acuidade de leitura (AL) e idade, os seguintes resultados são encontrados na Figura 21. A árvore de decisão utilizada é apresentada na Figura 22. Em uma segunda análise, a avaliação das variáveis citadas anteriormente, com exceção da

idade, gera um “cluster” de neurônios como o representado na Figura 23 e a sua árvore de decisão é apresentada na Figura 24.

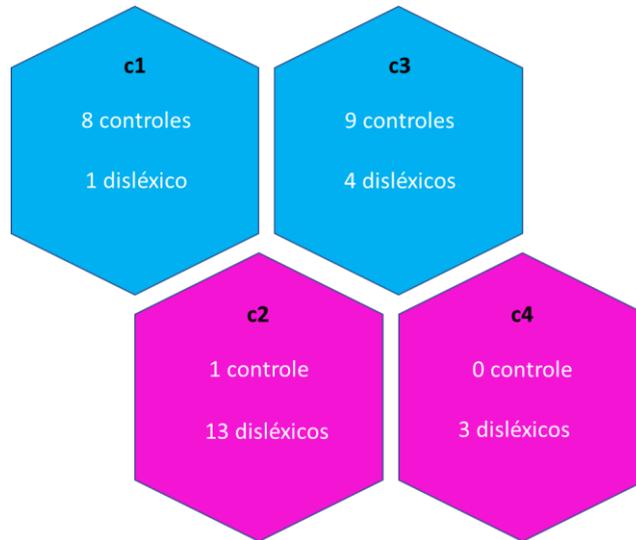


Figura 21. Representação da rede de neurônios de “cluster” 2x2 para MNREAD-P3. Análise 1. c1 (cluster controle), c2 (cluster disléxico), c3 (cluster controle) e c4 (cluster disléxico).

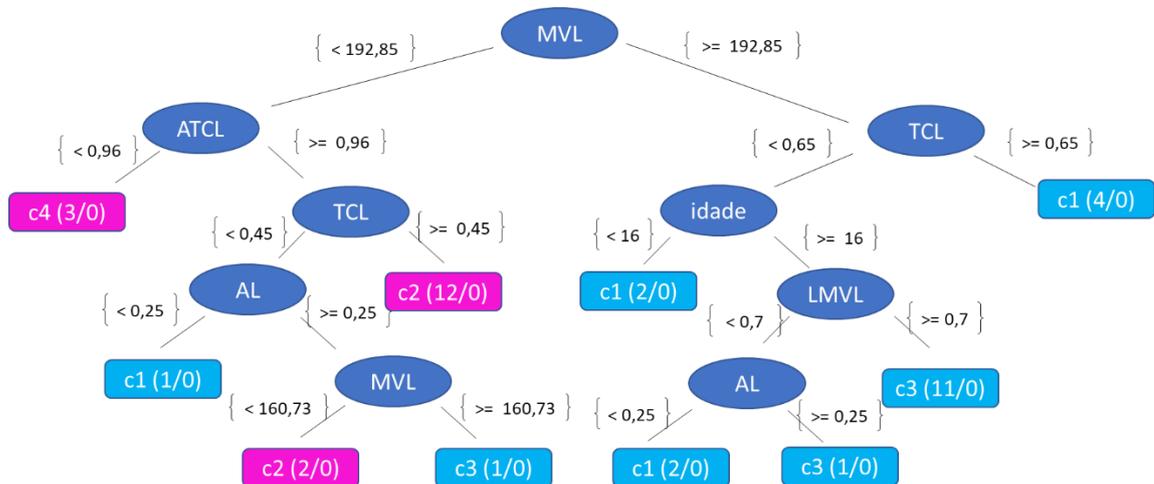


Figura 22. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios “cluster” 2x2 para MNREAD-P3. Análise 1.

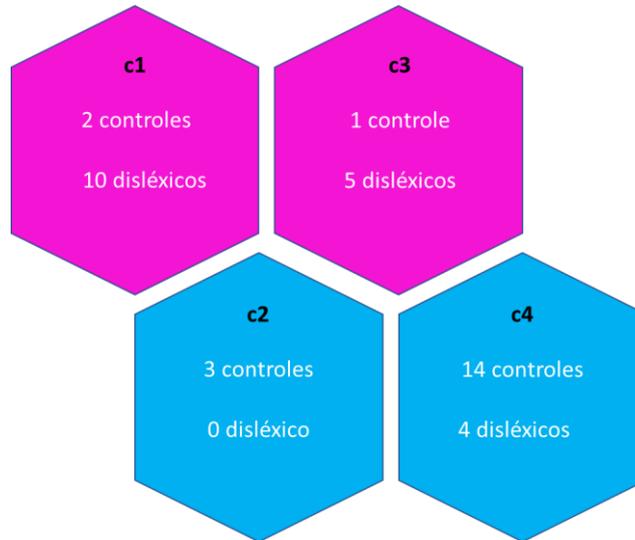


Figura 23. Representação da rede de neurônios de “cluster” 2x2 para MNREAD-P3. Analise 2. Da esquerda para a direita, acima: c1 (cluster controle) e c2 (cluster controle); abaixo: c3 (cluster disléxico) e c4 (cluster disléxico).

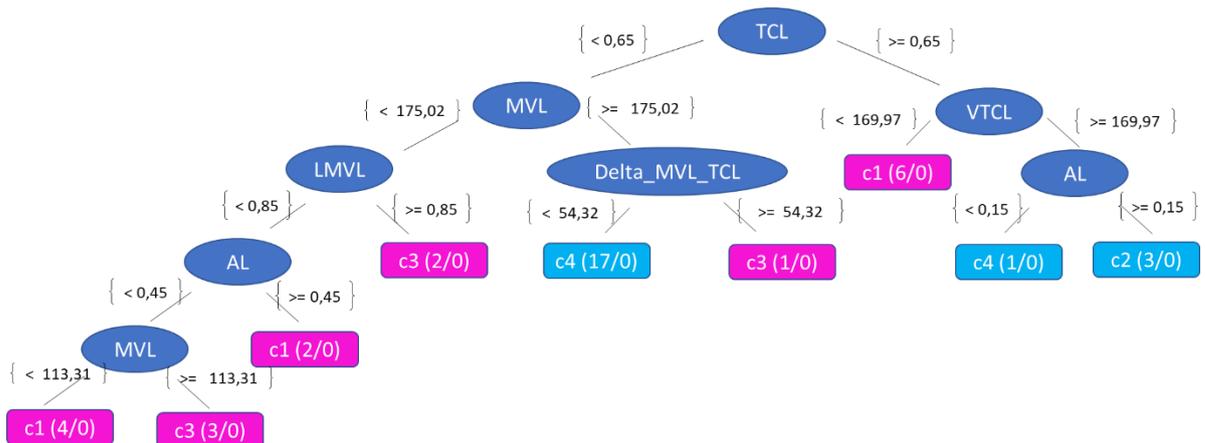


Figura 24. Representação da árvore de decisão para a rede de neurônios “cluster” 2x2 para MNREAD-P3. Analise 2.

## 6. A) DISCUSSÃO – ESTUDO 1

O estudo 1 teve como objetivo principal comparar os efeitos de duas apresentações de “*layout*” visual de texto no desempenho de leitura de indivíduos normo-leitores e disléxicos. As sentenças em forma de texto foram apresentadas de forma única (i.e., em uma única linha) ou divididas em 3 linhas sucessivas. Esperava-se que a mudança de layout de três linhas para linha única facilitaria o desempenho de leitura, mais

especificamente para o grupo disléxico por reduzir o efeito de aglomeração, uma das teorias atuais que explicam os mecanismos relacionados a dislexia. A seguir, os principais resultados encontrados em ambos experimentos são discutidos levando em conta a literatura atual na área.

As sentenças que compõem a MNREAD reproduzem a exigência tanto do processamento visual quanto do controle oculomotor para a realização da movimentação ocular requeridos durante a leitura de um texto comum (Virgili et al., 2004). O uso da MNREAD para a investigação das FVL em crianças já havia reportado boa confiabilidade nas medidas (Virgili et al., 2004). Originalmente, para o idioma português, a tabela MNREAD-P era impressa e cada sentença dividida em 3 linhas (de Castro et al., 2005). No Estudo 1 as sentenças foram manipuladas de forma a conservar o “*layout*” original (MNREAD-P3L) ou modificá-lo apresentando as sentenças em apenas uma linha (MNREAD-P1L). O “*crowding*”, ou “efeito de aglomeração” é frequentemente associado como um dos responsáveis pela velocidade de leitura mais lenta em sujeitos disléxicos devido à dificuldade em se reconhecer letras quando cercada por outras (Martelli et al., 2009, Gori & Facoetti, 2015). O “*crowding*” não só resultaria numa baixa de velocidade de leitura bem como numa menor acurácia, ou seja, uma maior quantidade de erros durante a leitura (Gori & Facoetti, 2015).

Hipotetizou-se nesse estudo que o “*crowding*” seria mais pronunciado na MNREAD-P3L do que na MNREAD-P1L por haverem mais informações na região excêntrica ao ponto de fixação. Desse modo, esperar-se-ia que a VL, o TCL, a AL e a acurácia de ambos os grupos seriam pior para a MNREAD-P3L do que para a MNREAD-P1L. Essa hipótese foi parcialmente corroborada, uma vez que tanto para os disléxicos quanto para os normo-leitores as variáveis acima citadas (com exceção da acurácia) foram piores quando da leitura da MNREAD-P3L.

Na análise clássica estatística, na comparação entre os grupos, para ambas as tabelas, houve diferença estatisticamente significativa tanto para a MVL, TCL e AL, sendo sempre os disléxicos, aqueles com o pior desempenho. No entanto, curiosamente, apenas para o TCL houve diferença estatisticamente significativa entre as tabelas, o que evidencia a importância dessa medida na avaliação da leitura bem como do efeito do espaçamento entre linhas no efeito de aglomeração. Todos os grupos apresentam TCL pior quando da

leitura da MNREAD-P3L. Desse modo, conforme apresentado nos resultados, o efeito de aglomeração estaria mais pronunciado na MNREAD-P3L, corroborando com a hipótese prévia ao estudo.

Como era de se esperar, o desempenho de leitura (i.e., acurácia) foi pior para o grupo disléxico do que para os normo-leitores. No entanto, curiosamente, a diferença de layout entre as tabelas não interferiu no fator de contexto textual, ou seja, a apresentação tanto em uma linha (MNREAD-P1L) quanto em três linhas (MNREAD-P3L) não interfere na acurácia de leitura, que é semelhante tanto para uma quanto para outra em ambos os grupos. Assim sendo, é possível correlacionar essas descobertas com o modelo de leitura apresentado anteriormente: a acurácia de leitura, nesse caso, independe do fator visuo-perceptual, mas sim, de fatores relacionados à rota fonológica e ortográfica.

O uso do SOM e árvores de decisão contribuem para reflexões complementares. Do uso da MNREAD-P1L, a partir da análise das Figuras 17, 18, 19 e 20 a importância da MVL e da LMVL na diferenciação entre os grupos é evidente. Assim, é possível concluir que tanto a velocidade de leitura quanto a percepção visual dado um tamanho de fonte são essenciais na detecção e diferenciação dos indivíduos normo-leitores e disléxicos. De forma semelhante, do uso da MNREAD-P3L para a diferenciação entre os grupos, a partir da análise das Figuras 21, 22, 23 e 24 as variáveis que se destacam são a MVL, o TCL, a LMVL e a VTCL, bem como a diferença entre a MVL e a VTCL. O que ressalta, mais uma vez que o TCL é ainda mais relevante quando há a divisão do texto em três linhas, e que, portanto, o efeito de aglomeração é mais pronunciado nessa condição.

## **7. A) CONCLUSÃO – ESTUDO 1**

A investigação dos efeitos de separação entre linhas sobre o desempenho de leitura e percepção visual em disléxicos e normo-leitores demonstrou que disléxicos tem pior desempenho quando comparados com normo-leitores. Além disso, é possível afirmar que o efeito de aglomeração é mais pronunciado quando acontece a separação em três linhas (MNREAD-P3L) para ambos os grupos, conforme hipotetizado. Assim, recomenda-se a

ampliação do estudo dos efeitos de layout na apresentação de textos, sobretudo em escolares com dificuldades de leitura, como os disléxicos.

## **4. B) METODOLOGIA – ESTUDO 2**

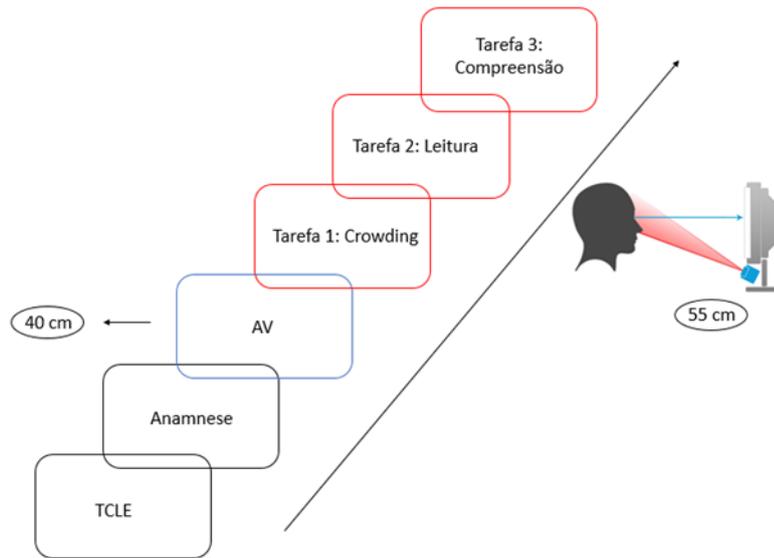
### **4.1. Participantes**

Participaram voluntariamente desse experimento, 40 indivíduos leitores não disléxicos adultos (idade cronológica:  $M = 19.75$  anos,  $DP = 1.71$ ), 38 leitores não disléxicos crianças (idade cronológica  $M = 9.04$  anos,  $DP = 1.95$  e idade lexical  $M = 9.16$ ,  $DP = 2.12$ ) e 14 disléxicos (idade cronológica  $M = 10.47$  anos,  $DP = 1.28$  e idade lexical  $M = 7.43$  anos  $DP = 0.59$ ), leitores fluentes do francês, com AV binocular igual ou melhor a  $0.3 \log \text{MAR}$  na tabela Lea Symbols sem correção (incluindo participantes que no cotidiano usam correção) e sem antecedentes oftalmológicos como estrabismo, nistagmo e histórico de cirurgia oftalmológica prévia.

Todos os participantes, ou seus responsáveis legais, assinaram termo de Consentimento Livre e Esclarecido previamente a coleta de dados. Essa pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Université Clermont – Auvergne.

### **4.2. Aparelhagem**

O experimento se deu em uma sala silenciosa na seguinte sequência: assinatura TCLE, anamnese, teste da AV, Tarefas: 1. “Crowding”, 2. Leitura e 3. Compreensão (Figura 25).



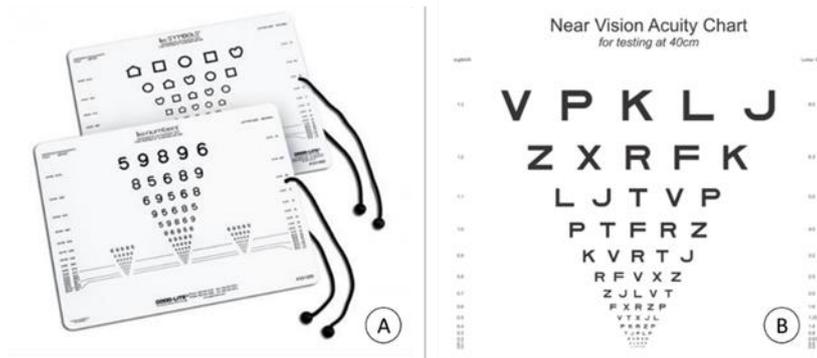
**Figura 25. Visão global metodológica do Estudo 2.**

*Testes de AV.* Duas tabelas logarítmicas foram utilizadas para medir acuidade de leitura para perto (40cm):

- Teste de AV Fonética Otimizada (“Optimal Phoneme Near Vision Test”): Essa tabela foi desenvolvida especificamente para esse estudo levando em conta a população de disléxicos, população ignorada na construção de tabelas prévias. Tabelas atuais incluem a combinação de letras particularmente difíceis de serem reconhecidas por pessoas com dificuldade de leitura (e.g. “B” e “P” são frequentemente confundidas por disléxicos, Lachmann & Geyer, 2003). Portanto, um dos aspectos considerados no desenvolvimento dessa tabela foi a escolha cuidadosa de letras que representassem uma menor probabilidade de gerar essa confusão fonética (Lachmann & Geyer, 2003). Outro aspecto considerado foi a distribuição igual de letras de características reta (i.e., “*straight-line letters*”; F / f /, L / l /, K / k /, T / t /, V / v /, X / x /, Z / z /) e de características redonda (i.e., “*round-shaped letters*”; P / p /, R / r /, J / j /). Devido à combinação desses dois aspectos, a tabela desenvolvida provavelmente medirá de forma mais robusta a AV de disléxicos quando comparada com as tabelas atualmente disponíveis (Tsoka et al., 2008, Plainis, Tzatzala, Orphanos, & Tsilimbaris, 2007). O software Corel Draw® 2017 (version 19.1.0.419) foi utilizado para desenvolver digitalmente a tabela e foram seguidas recomendações do Conselho Internacional de Oftalmologia (Universale & Committee, 1984) para escolha de optotipos, “*layout*” e progressão. Foram utilizados optotipos “Sloan”

(Pelli & Robson, 1988), tamanho variando de 0.0 logMAR a 1.3 logMAR e seguindo uma progressão de 0.1 logMAR por linha. O espaçamento entre as letras é equivalente ao tamanho de um optotipo, e o espaçamento entre as linhas é equivalente ao tamanho das letras da linha inferior (Bailey & Lovie, 1976). As letras foram distribuídas em 14 linhas (5 letras por linha), como é possível verificar na Figura 26B. A distribuição das letras adotou dois critérios: 1. para linhas adjacentes, as letras adjacentes não se repetem tampouco a repetição de uma mesma letra; 2. entre duas letras do tipo redonda, há pelo menos uma letra do tipo reta. Além disso, para cada linha, no mínimo 1 e no máximo 2 letras redondas foram permitidas, separadas pelo menos por uma letra reta.

- Tabela “Lea Numbers Near Vision Card”: Essa tabela (Figura 26A) serviu para comparação e validação da tabela desenvolvida (“Optimal Phoneme Near Vision Test”).



**Figura 26. Representação das tabelas usadas para medida da AV. A) “Lea Numbers Near Vision Card” e em B) Tabela de AV desenvolvida, “Optimal Phoneme Near Vision Test”.**

*Tarefa efeito de aglomeração (“crowding”).* Um monitor de computador foi utilizado para apresentação dos estímulos, sempre iniciados por uma cruz vermelha como ponto de fixação central seguida da apresentação de um trígama de letras posicionados à direita. Os trigramas foram criados combinando letras retas (V,T) e redondas (P,R) e aleatorizados em 5 ordens diferentes: 1-redonda-reta- redonda (RSR); 2- reta-redonda-reta (SRS); 3-redonda-reta-reta (RSS); 4-reta- redonda-redonda (SRR); 5-reta-reta-redonda (SSR). Em ambas condições foram adotadas fonte Arial 16 desenhadas no software Word-MS®.

*Tarefa de leitura.* No mesmo monitor de computador dos testes anteriores foram apresentados textos escolhidos a partir de trabalhos anteriores. Para o idioma FR foi extraído um texto da bateria de testes “EDA – Évaluation des fonctions cognitives et

apprentissages” (Cavin, Cuisset, Cavin, Cuisset, & De, 2014, mais recente e aperfeiçoada versão do teste “BREV – Batterie Rapide d’Évaluation des Fonctions Cognitives, Billard et al., 2006), atualmente utilizada para avaliar funções cognitivas e habilidade de aprendizado. O texto em FR foi dividido em 25 sentenças, para ambos os textos cada sentença foi apresentada uma de cada vez e em uma única linha (conforme resultados dos experimentos anteriores para otimização do layout visual).

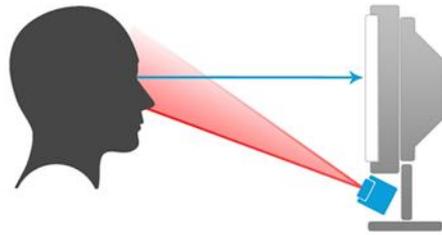
*Tarefa de compreensão.* Perguntas que originalmente são feitas de forma “aberta”, foram adaptadas para questões de “múltipla escolha” (com 3 alternativas de resposta para cada pergunta), com objetivo de acessar de forma objetiva, o nível de compreensão dos leitores a respeito do texto lido. As questões foram apresentadas de duas formas, escrita na tela do computador e verbalizada pela(o) experimentadoras (es). A verbalização das perguntas teve como objetivo reduzir possíveis problemas de leitura e, portanto, compreensão da pergunta por parte do grupo disléxico.

Durante todos os testes, a movimentação ocular foi registrada por um rastreador de olhar (modelo RED-m Eye Tracking, SMI). O rastreador de olhar adotado utiliza-se de câmeras infravermelhas para detecção da pupila e reflexo da córnea. A taxa de aquisição de dados foi de 60Hz, com acurácia espacial de 0.5° e a calibração de 9 pontos em tela.

### **4.3. Desenho experimental e procedimentos**

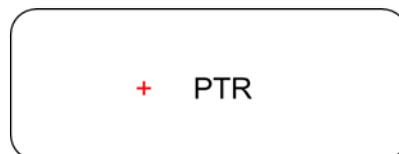
Todos participantes iniciaram o protocolo experimental assinando TCLE e preenchendo anamnese inicial. Após essa primeira etapa, os participantes foram alocados em uma sala individual, longe de distrações e ruídos, e sentados em uma cadeira em frente a tela do computador responsável pela apresentação dos estímulos.

O primeiro teste feito foi avaliação da AV utilizando as duas tabelas descritas anteriormente. A avaliação foi feita binocularmente, a distância de 40cm entre olhos do participante e tela do computador. Após essa etapa, foi realizada a calibração do rastreador de olhar a uma distância de 55cm, utilizando-se 9 pontos na tela do computador (Figura 27), para coleta de dados do olhar nos testes subsequentes. Recalibrações foram feitas regularmente e sempre que necessária para manter acurácia do sistema.



**Figura 27.** Representação do posicionamento do participante em relação ao monitor e ao *eyetracker*. Registro da movimentação ocular durante a calibração, o teste de aglomeração e o teste de leitura.

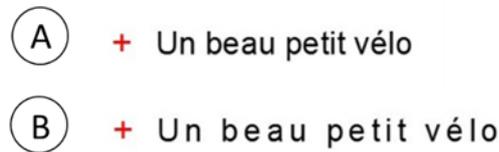
Na sequência, os participantes participaram do teste de aglomeração ou “*crowding*” (Figura 28). Sentados a uma distância de 55cm da tela do computador, eles foram orientados a fixar o olhar na cruz de fixação vermelha apresentada no centro da tela e informar verbalmente na sequência correta (i.e., da esquerda para a direita) e sem movimentar os olhos (i.e., manter o olhar no ponto de fixação central) as letras que compõem o trigrama. A distância entre o ponto de fixação e a primeira letra do trigrama era de 70px (i.e., 3º do ângulo visual). Os trigramas foram apresentados em duas condições: espaçamento padrão entre as letras (1.0 pt) e espaçamento maior (2.5 pt). O teste foi dividido em dois blocos, um primeiro bloco de familiarização, seguido de um segundo bloco correspondente a avaliação. O bloco de familiarização consistiu de 5 tentativas trigramas (3 na condição espaçada e 2 na condição de espaçamento padrão). Após completar familiarização, inicia-se bloco de avaliação em que 40 trigramas (20 na condição espaçada e 20 na condição de espaçamento padrão) foram apresentados de forma randomizada.



**Figura 28.** Representação do estímulo para o teste de aglomeração, ou “*crowding*”.

No último teste, a tarefa dos participantes foi de ler um texto apresentado na tela do computador sob uma de duas condições experimentais: espaçamento padrão (0.0pt) ou espaçamento maior (2.5pt). Participantes foram alocados de forma randômica em uma das situações (Figura 29), enquanto que o mesmo texto foi usado para ambas condições. Os participantes foram orientados a realizar a leitura em voz silenciosa e informados de que ao

final da leitura haveria um questionário acerca da compreensão do texto lido. A tarefa de compreensão foi aplicada na sequência da leitura do texto.



**Figura 29.** Representação do estímulo apresentado durante a tarefa de leitura. Em A) uma sentença com espaçamento "padrão" e em B) o espaçamento "mais espaçado" entre letras.

#### 4.4. Análise de dados

No teste de AV, primeiro identificou-se qual o último logMAR em que o participante conseguiu efetuar a leitura e na sequência comparou esse índice de desempenho entre os três grupos (adultos não disléxicos, crianças não-disléxicas e crianças disléxicas) e as duas tabelas ("Optimal Phoneme Near Vision Test" e "Lea Numbers Near Vision Card").

Para análise de dados do teste de aglomeração ("*crowding*"), adotou-se a análise por decomposição ou "*decomposition analysis*", (Yu et al., 2014). Essa técnica permite o acesso de informações acerca de três componentes sensoriais que são considerados fatores determinantes na utilização da informação disponível para o reconhecimento das letras durante a leitura, sendo eles resolução, inacurácia espacial ("*mislocations*") e aglomeração (Chung & Legge, 2009). Baseado nesses fatores, a análise de decomposição propõe a criação de quatro perfis para cada leitor possibilitando identificar eventuais dificuldades em cada um dos componentes sensoriais: 1- perfil de referência ("*perfect profile*") 2- perfil de palavra isolada ("*an isolated-letter profile*"), 3- perfil janela visual ("*visual-span profile*") e 4- perfil correção de inacurácia espacial ("*mislocations-corrected visual span profile*"). O perfil 1 é um perfil hipotético qual corresponderia a um desempenho perfeito (100%) no reconhecimento de todas as letras. O perfil 2 é um perfil mensurável, qual calcula o reconhecimento real para uma letra isolada, sendo determinado a partir da excentricidade na qual as letras de um determinado tamanho atingem o limite de acuidade visual na visão periférica. A diferença entre os perfis 1 e 2 indica a redução de desempenho perfeito a desempenho real devido à redução da AV. O perfil 3 é identificado a partir da apresentação de trigramas ao invés de palavras isoladas. Uma vez que esse perfil é baseado na

apresentação simultânea de trigramas (e, portanto, letras), ele está sujeito, além das limitações de resolução observada no perfil 2, aos outros dois componentes sensoriais, inacurácia espacial (“*mislocations errors*”) e efeito de aglomeração (“*crowding*”). Portanto, a apresentação de trigramas permite separar os efeitos de inacurácia espacial dos efeitos de aglomeração por: 1- exigir que o participante identifique a letra e seu posicionamento (perfil 3) e 2- contar a quantidade de letras que são identificadas corretamente mesmo se identificadas na posição (i.e., ordem) incorreta (perfil 4). A razão entre esses dois “*scores*” subtraído por 1 representa o resultado empírico dos erros de posicionamento, e, portanto, essa permite separar os efeitos de inacurácia espacial daqueles de aglomeração (“*crowding*”) e resolução. Assim sendo, o efeito de inacurácia espacial é representado pela diferença entre os perfis 4 e 3 e o efeito de aglomeração (“*crowding*”) pela diferença entre os perfis 4 e 2. A identificação dos perfis foi realizada para cada um dos participantes, e comparada entre grupos.

Finalmente, nos últimos testes do protocolo experimental (i.e., teste de leitura e de compreensão), analisou-se os resultados de desempenho de leitura e dados do olhar. Com relação ao desempenho de leitura, duas variáveis foram consideradas, velocidade média de leitura e nível de compreensão. Para velocidade de leitura, calculou-se para cada participante, a velocidade em palavras por minuto para cada tentativa inteira (25 sentenças). O cálculo se deu a partir do número de palavras apresentadas na tentativa e a duração da leitura na mesma (medida em ms a partir do início da apresentação do estímulo e o pressionar do botão do teclado pelo participante após término da leitura). Para nível de compreensão, calculou-se também para cada participante, o número de respostas certas no questionário de compreensão apresentado ao final de cada tentativa. Para efeitos de comparação entre grupos e condição, a velocidade média e o número de acertos foram submetidos a uma 3 (grupo: adulto não-disléxico, criança não-disléxica, criança disléxica) por 2 (condição: *default*, espaçada) MANOVA. Post-hoc testes incluindo ANOVAS foram adotados quando necessário. Com relação aos dados do olhar, calculou-se as seguintes variáveis para cada participante por tentativa: quantidade, frequência (num/s) e duração média (ms) de fixações, e número, amplitude média (°), velocidade média (°/s) e latência média de sacadas (ms). Cada uma dessas variáveis foi avaliada previamente para cada participante de forma a eliminar os dados aberrantes “*outliers*”, através da avaliação do “*boxplot*”. Em seguida, foi calculada a média de cada uma das variáveis para a leitura das

25 sentenças, ou seja, do texto completo. Para efeitos de comparação entre grupos e condição, as variáveis do olhar descritas anteriormente foram todas submetidas a uma 3 (grupo: adulto não-disléxico, criança não-disléxica, criança disléxica) por 2 (condição: *padrão*, *espaçada*) MANOVA-RM. Adicionalmente, apresenta-se uma análise qualitativa preliminar do padrão de rastreamento do olhar (*“scan path”*).

## 5. B) RESULTADOS – ESTUDO 2

### 5.1. Acuidade Visual

Os dados apresentados na Tabela 2 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representam a medida da acuidade visual para os participantes.

**Tabela 2. Acuidade visual dos participantes durante a leitura da Lea Symbols e Tabela Desenvolvida. AV dos participantes medida com o uso de correção (cc), sem o uso de correção (sc) e NC (não constam dados para essa medida).**

Acuidade Visual (logMAR)					
Grupo	Lea Symbols		AV developed		
	sc	cc	sc	cc	
normo-leitores adultos	0.00 +/- 0.00	NC	0.00	0.00 +/-	NC
disléxicos	0.10	0.09 +/- 0.07	0.09	0.05 +/-	0.01 +/- 0.03
normo-leitores crianças	0.05	0.03 +/- 0.00	0.03	0.01 +/-	0.00 +/- 0.00

### 5.2. Teste de aglomeração (*“crowding”*)

Durante a avaliação do teste de aglomeração foi observado que ambos grupos compostos de crianças, disléxicas e não-disléxicas, durante a tarefa de *“crowding”* apresentaram dificuldades extremas para cumprir a tarefa de forma correta (i.e., fixar olhar no ponto de fixação e não mover os olhos em direção ao estímulo). Ao invés de excluir esses dados que compõem para o grupo normo-leitor (44% estímulo padrão e 44% espaçado) para o grupo disléxico (97% estímulo padrão e 96% estímulo espaçado) e grupo normo-leitor criança (85% estímulo padrão e 84% estímulo espaçado) foi proposto o uso

desses dados para a avaliação. Dessa forma cada tentativa foi categorizada em uma de 4 variáveis categóricas criadas. A criação das 4 categoriais foram baseadas nas respostas obtidas em função de dois aspectos, avaliação pelo “*eyetracker*” e avaliação da resposta verbal. A avaliação pelo “*eyetracker*” consistia em avaliar se os participantes mantiveram (ou não) a fixação do olhar na cruz ao centro da tela. A avaliação da resposta verbal dada pelo participante, consistia se as letras eram (ou não) verbalizadas corretamente e na sequência apresentada.

Somente foram consideradas como válidas as situações 1 e 2, como demonstrado pelo Quadro 9. O teste de Regressão Logística Nominal Multinomial mostrou que o grupo tem grande efeito sobre a situação  $\chi^2 (6) = 998.44$ ,  $p = .000$ , mas que a condição não tem efeito sobre a situação  $\chi^2 (3) = 3.72$ ,  $p = .293$ . Na avaliação das estimativas de parâmetros, foi identificada que a situação 2 tem mais chances de acontecer para o grupo não-disléxico criança  $b = 1.39$   $Wald \chi^2 (1) = 0.42$ ,  $p = .51$ , a situação 3 mais chances de acontecer para o grupo disléxico  $b = 38.99$   $Wald \chi^2 (1) = 223.25$ ,  $p = .000$  do que para o grupo normo-leitor criança  $b = 8.94$   $Wald \chi^2 (1) = 520.69$ ,  $p = .000$  e por fim, a situação 4 tem mais chances de acontecer para o grupo disléxico  $b = 19.81$   $Wald \chi^2 (1) = 64.01$ ,  $p = .000$  do que para o grupo normo-leitor criança  $b = 1.07$   $Wald \chi^2 (1) = 0.04$ ,  $p = .84$ .

**Quadro 9. Elementos considerados para a avaliação do “teste de aglomeração”.**

Situação	Análise pelo Eyetracking	Resposta verbal	Conclusão	Validação
1	válida	correta	fixação central e percepção parafoveal	válida
2	válida	incorreta	fixação central e percepção parafoveal	válida
3	inválida	correta	fixação parafoveal	inválida
4	inválida	incorreta	fixação parafoveal	inválida

### 5.3. Teste de leitura

#### 5.3.1. Desempenho de leitura

A MANOVA revelou diferença significativa entre grupos  $F(4, 170) = 22.62, p < .0001$ ; Wilk's  $\Lambda = .43$ , e nenhuma diferença significativa entre condições  $F(2, 85) = 0.34, p = .74$ ; Wilk's  $\Lambda = .99$ . A ANOVA subsequente indicou que a diferença significativa entre grupos se deu somente para a variável velocidade de leitura  $F(2, 91) = 56.51, p = .0001$ , nenhuma diferença foi encontrada para compreensão de texto  $F(2, 91) = 0.76, p = .47$  (Figura 30). Comparações subsequentes apontaram diferenças entre os três grupos, sendo que crianças disléxicas leem significativamente mais devagar que crianças não-disléxicas,  $t_{(47)} = 3.74 p < .0001$  e que adultos não-disléxicos,  $t_{(52)} = 9.78 p < .0001$ , enquanto que crianças não-disléxicas leem significativamente mais devagar que adultos não-disléxicos  $t_{(76)} = 8.21 p < .0001$ (Figura 31).

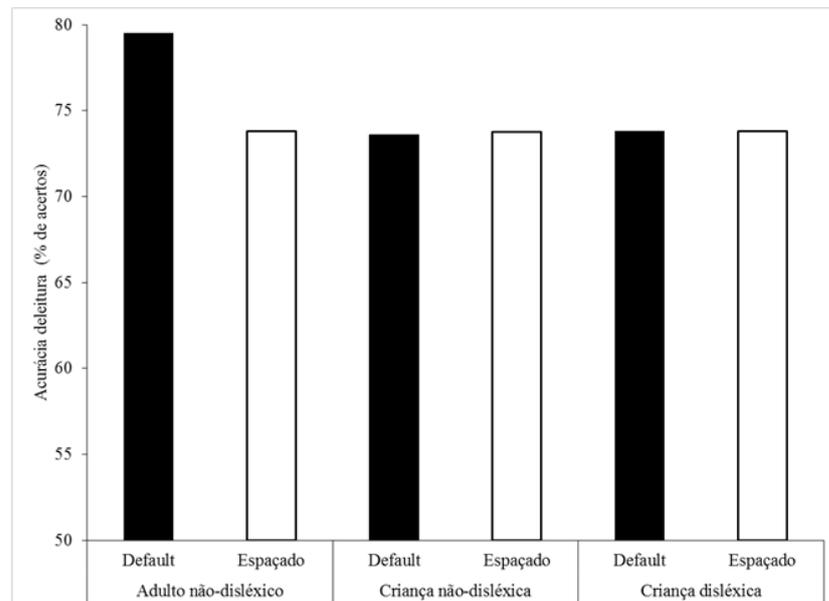
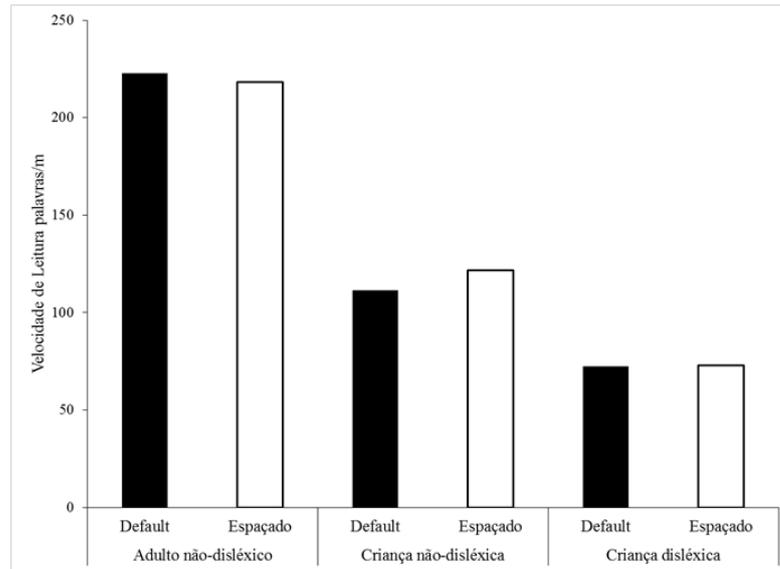


Figura 30. Acurácia de leitura em porcentagem de acertos ao responder as perguntas da tarefa de compreensão de leitura para grupos e condições.



**Figura 31. Velocidade média de leitura em palavras por minuto durante teste de leitura para grupos e condições.**

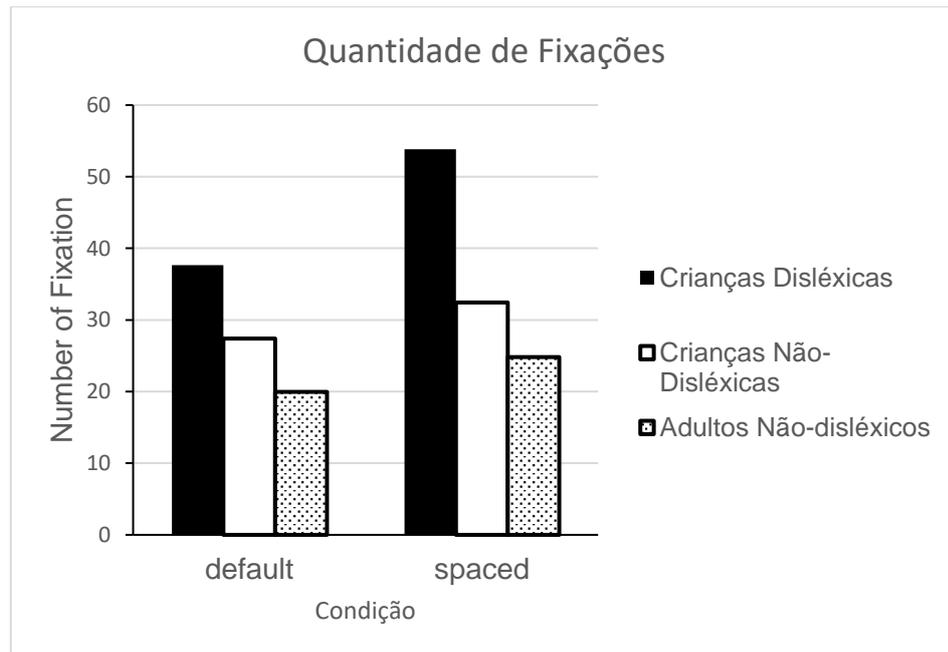
### 5.3.2. Dados do Olhar

A MANOVA revelou diferença significativa entre grupos  $F(18, 154) = 2.59, p < .001$ ; Wilk's  $\Lambda = .60$ , e entre condições  $F(9, 77) = 4.59, p < .001$ ; Wilk's  $\Lambda = .65$ . No entanto, não houve interação entre grupo e estímulo  $F(18, 154) = .94, p > .52$ ; Wilk's  $\Lambda = .81$ .

A ANOVA subsequente indicou que a diferença significativa entre grupos se deu somente para as variáveis quantidade de fixações  $F(2, 85) = 1582.72, p = .000$  e sacadas  $F(2, 85) = 2113.13, p = .000$ . Nenhuma diferença foi encontrada para frequência e duração média de fixação e nem para frequência, duração média, amplitude média, velocidade média e latência média das sacadas.

A ANOVA subsequente indicou que a diferença significativa entre estímulos se deu para quantidade  $F(1, 85) = 1492.53, p = .001$  e frequência de fixações  $F(1, 85) = 2.70, p = .005$ , bem como para quantidade  $F(1, 85) = 1324.51, p = .001$  e frequência das sacadas  $F(1, 85) = 2.95, p = .002$ . Nenhuma diferença foi encontrada para duração média da fixação, duração média, amplitude média, velocidade média e latência média das sacadas. Os gráficos relacionados à quantidade de fixações e sacadas podem ser observados, respectivamente, na Figura 32 e Figura 33.

Uma avaliação qualitativa pode ser observada na Figura 34 e Figura 35. Na primeira figura, estão representadas a movimentação ocular para os três grupos durante a leitura de uma das sentenças apresentada no “*layout*” padrão. De forma semelhante, a segunda figura representa a movimentação ocular para os três grupos, no entanto, dessa vez, com o padrão de espaçamento aumentado.



**Figura 32. Quantidade de fixações por grupo e estímulo.**

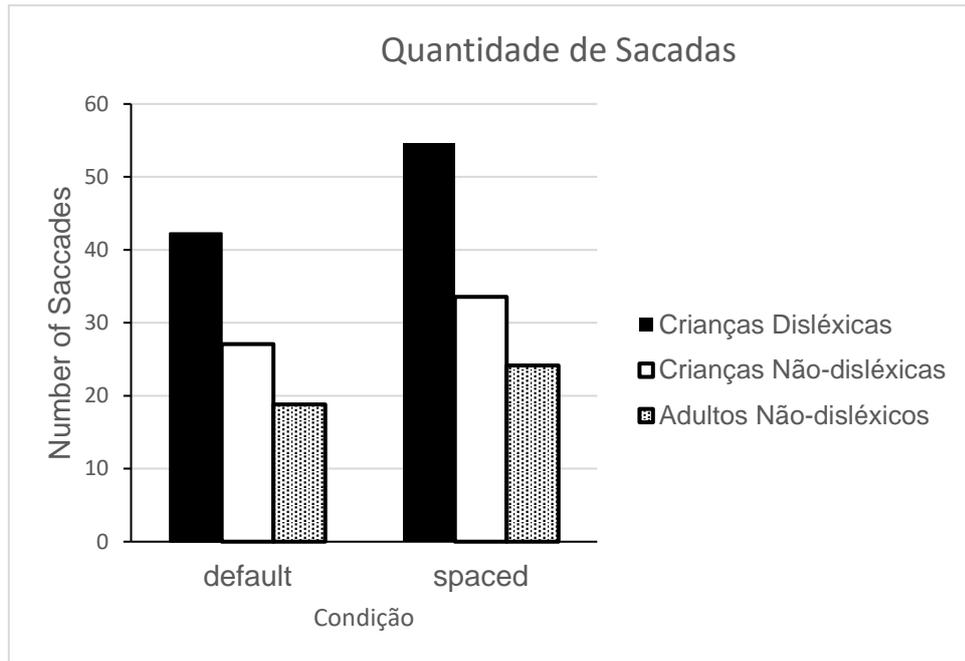


Figura 33. Quantidade de sacadas por grupo e estímulo.

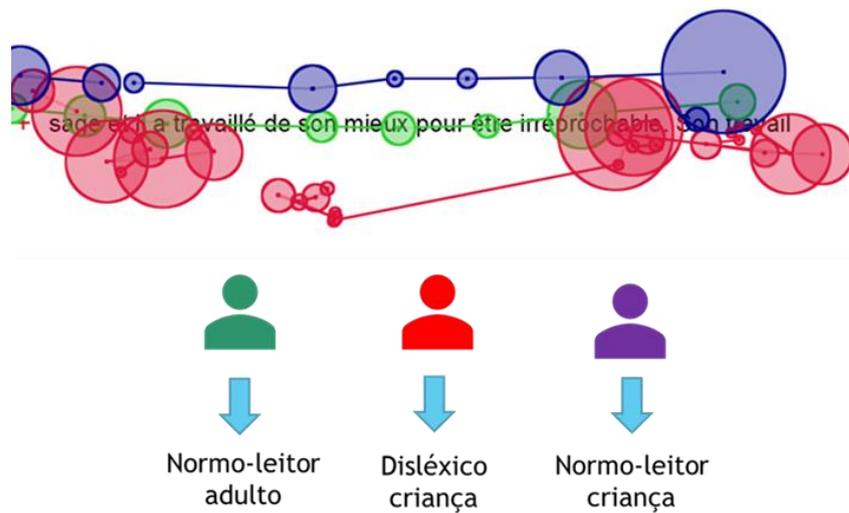


Figura 34. "Scanpath" representando o rastreamento ocular dos diferentes grupos durante a leitura para uma sentença com "layout" de espaçamento padrão entre as letras.

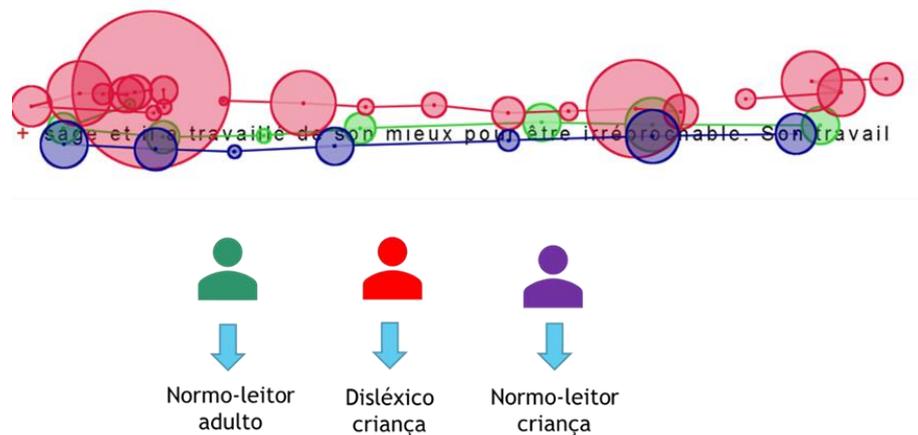


Figura 35. "Scanpath" representando o rastreamento ocular dos diferentes grupos durante a leitura para uma sentença com "layout" de espaçamento espaçado entre as letras.

## 6. B) DISCUSSÃO – ESTUDO 2

### 6.1. Acuidade visual

A medida da acuidade visual foi utilizada como um dos critérios de inclusão para a participação do estudo. Participantes com a necessidade de uso de correção tiveram sua AV medida com seus respectivos óculos. A partir da Tabela 2 é possível observar que nenhum normo-leitor adulto tinha necessidade de correção óptica, e de forma oposta, em ambos os grupos infantis havia a presença de participantes com uso de correção óptica.

Conforme apresentado anteriormente na seção 4.2, a tabela desenvolvida seguiu as recomendações de Universale e Committee (1984), para optotipos ("Sloan" - Pelli & Robson, 1988, Bailey & Lovie, 1976), "layout" e progressão aritmética. Tanto para o grupo normo-leitor quanto o dislético não houve diferença no resultado da AV entre as duas tabelas. Considerando-se que a AV foi medida em logMAR, para todos os grupos em todas situações (com ou sem correção), os resultados obtidos podem conduzir a duas reflexões diferentes: a primeira, de que todos os grupos apresentavam AV satisfatória, uma vez que as AV obtidas foram menores do que 0.1 logMAR. A segunda, de que, uma vez que não houve diferença significativa nos resultados da AV tanto com uma quanto com outra tabela, conclui-se que o "Teste de AV Fonética Otimizada" poderia também ser usada para a avaliação da AV, sobretudo na avaliação de sujeitos disléxicos, para qual foi desenvolvida.

## 6.2. Teste de aglomeração “*crowding*”

A análise inicial proposta pressupunha seguir o protocolo de “análise de decomposição”, em inglês, “*decomposition analysis*” (Yu et al., 2014). Essa técnica permite o acesso de informações acerca de três componentes sensoriais que são fatores determinantes na utilização da informação disponível para o reconhecimento das letras durante a leitura, sendo eles: resolução, inacurácia espacial (“*mislocations*”) e aglomeração (Chung & Legge, 2009). Baseado nesses fatores, a análise de decomposição propõe a criação de quatro perfis para cada leitor possibilitando, assim, identificar eventuais dificuldades em cada um dos componentes sensoriais.

No entanto, ao avaliar os resultados obtidos pela tarefa de “*crowding*”, foi observado que os participantes tinham grande dificuldade em desempenhar a tarefa, principalmente o grupo disléxico. Cabe ressaltar que contrariamente ao estudo de referência em que a amostra era composta de leitores adultos, no presente estudo participaram também crianças disléxicas e não-disléxicas. Na verdade, o estudo de Norgett e Siderov (2014), já havia demonstrado que o “*crowding*” pode ser diferente entre adultos e crianças, sendo mais pronunciado no grupo de crianças. Os autores também relataram que crianças apresentam maiores dificuldades com relação ao reconhecimento e desempenho da tarefa, corroborado pelos achados do presente estudo, uma vez que o grupo de crianças não-disléxicas apresentou um desempenho pior no teste de aglomeração do que o grupo de adultos leitores não - disléxicos. Descartou-se a possibilidade de atribuir tal redução de desempenho à acuidade visual (Yehezkel, Sterkin, Lev, & Polat, 2015), uma vez que todos os participantes foram submetidos à uma avaliação AV prévia como critério de inclusão para participação nesse estudo.

Portanto, devido à dificuldade em se determinar os perfis de “análise de decomposição”, o presente estudo categorizou cada tentativa como uma dos 4 possíveis comportamentos durante a tarefa de “*crowding*” (para detalhes, veja 5.2) ao invés da tradicional abordagem na psicologia experimental de exclusão de tentativas em que a tarefa não foi executada corretamente (i.e., olhar não permaneceu fixo no centro da tabela durante a tentativa). A situação 1 (i.e., comportamento ótimo: posicionamento do olhar fixado no

centro da tarefa, com reconhecimento parafoveal da combinação de letras corretamente verbalizadas) foi estabelecido como referência para a comparação com as demais situações. De acordo com resultado da análise estatística, foi demonstrado que a variável grupo tem efeito sobre a situação, e que o espaçamento não tem influência no desempenho dessa tarefa. Além disso, as situações 2, 3 e 4 tem mais chances de ocorrer em ambos os grupos formados por crianças. Esse desempenho subótimo pode estar ligado à relação intrínseca entre atenção visual e movimento sacádico (Facoetti, Luisa Lorusso, Paganoni, Umilt, & Gastone Mascetti, 2003). Estudos que exploraram o desenvolvimento do mecanismo de atenção visual em seres humanos mostraram que crianças são menos eficientes do que adultos no direcionar recursos atencionais e ignorar estímulos irrelevantes externos (Enns & Akhtar, 1989, Pastò & Burack, 1997). Essa dificuldade de inibição pode auxiliar a compreender as dificuldades apresentadas pelas crianças durante o desempenho da tarefa de “*crowding*” no presente estudo, uma vez que foram excluídos resultados (situação 3 e 4) do grupo normo-leitor (44% estímulo padrão e 44% espaçado), do grupo disléxico (97% estímulo padrão e 96% estímulo espaçado) e do grupo normo-leitor criança (85% estímulo padrão e 84% estímulo espaçado).

### 6.3. Desempenho de leitura

O aumento do espaçamento entre letras parece facilitar o desempenho de leitura em voz alta<sup>7</sup> de crianças não disléxicas, e principalmente disléxicas. Zorzi et al. (2012) investigaram o efeito do espaçamento entre letras para os idiomas francês e italiano na leitura em voz alta de 24 sentenças não-relacionadas entre si. Os autores observaram um aumento na velocidade de leitura e compreensão leitora na avaliação de crianças disléxicas, efeito esse não observado em crianças não-disléxicas. Adicionalmente, Perea et al. (2012) demonstraram durante a leitura em voz alta de um texto curto em espanhol, que um maior espaço entre letras facilitou a compreensão leitora e aumentou a velocidade de leitura. Diferentemente de ambos os estudos citados anteriormente, o presente estudo

---

<sup>7</sup> A leitura em voz alta tem sido adotada na grande maioria dos estudos de leitura, pois, além de requerer ativação do código fonológico, permite análise direta do desempenho leitora (i.e. acurácia velocidade).

encontrou diferença significativa para o desempenho de leitura entre grupos, mas nenhuma diferença significativa entre condições.

O grupo de crianças disléxicas apresentou velocidade de leitura menor do que os grupos de crianças e adultos não-disléxicos. Diferentemente dos estudos anteriormente citados, o espaçamento entre letras não melhorou o desempenho de leitura (i.e., velocidade de leitura) para nenhum dos grupos. A diferença entre os resultados do presente estudo em relação à literatura científica utilizada como referência, pode ser devido tanto ao tipo de texto utilizado (sentença relacionadas entre si no idioma francês), quanto à tarefa de leitura em voz silenciosa. Os achados subsequentes indicaram que a compreensão leitora não é diferente entre grupos e que não há influência do espaçamento para nenhum dos três grupos. Esses achados no presente estudo são extremamente relevantes e corroboram com o achado do Estudo 1, no qual a compreensão leitora (então medida pela acurácia) também não foi afetada pela mudança de apresentação do layout. No entanto, para o Estudo 1 a mudança de espaçamento entre linhas teve efeito sobre a velocidade de leitura, o que não aconteceu para o Estudo 2 (espaçamento entre as letras).

Sendo assim, mais uma vez, é possível afirmar que a manipulação do espaçamento (nesse caso, entre letras) interferiu no processamento ortográfico e fonológico (aqui, medido pela velocidade de leitura), no entanto, não houve efeito sobre o processamento semântico, de significado (aqui, medido pela compreensão leitora). Esse fato pode ser atribuído ao texto escolhido, especificamente desenvolvido para a avaliação das funções cognitivas e validação dos problemas de aprendizado (Billard et al., 2006).

#### **6.4. Dados do olhar**

A avaliação dos dados do olhar considerou dois movimentos oculares, as fixações (quantidade, frequência e duração média) e as sacadas (quantidade, frequência, duração média, amplitude média, velocidade média e latência média) em função de grupo e condição da tarefa (espaçado ou padrão). Estudos de rastreamento ocular para avaliação do processo de leitura reportaram que disléxicos apresentam fixações mais longas e em maior quantidade, mas menos regressões, do que não-disléxicos durante a leitura de textos

(em alemão, regularidade ortográfica) e pseudopalavras (Hutzler & Wimmer, 2004). No estudo de Trauzettel-Klosinski et al. (2010), também com o idioma alemão, o grupo disléxico apresentou velocidade de leitura menor, e um maior número de sacadas e regressões do que não-disléxicos.

A partir dos gráficos apresentados nas Figura 32 e 33, em uma análise entre grupos para as variáveis quantidade de fixações e sacadas, é possível observar que crianças disléxicas tendem a realizar um número maior de fixações e sacadas do que crianças não-disléxicas, e essas por sua vez, apresentam uma quantidade menor do que o grupo não-disléxico adulto. Além disso, as análises estatísticas realizadas revelaram que existem diferenças significativas para a quantidade de fixações e sacadas entre os grupos. No que concerne à avaliação das condições, a quantidade de fixações e sacadas foi maior do que em relação à condição de espaçamento padrão para todos os grupos, evidenciando assim, que, em relação ao padrão de rastreamento visual, o espaçamento não facilita o rastreamento do texto, o que vai de encontro aos achados de outros estudos. Ao comparar a quantidade de sacadas e fixações bem como suas frequências, na apresentação espaçada o desempenho de todos os grupos foi pior, sendo assim, nesse caso, o espaçamento aumentado dificultou o rastreamento ocular.

## **7. B) CONCLUSÃO – ESTUDO 2**

O maior espaçamento entre letras interferiu negativamente no processamento visual (aqui, traduzido pela quantidade de fixações e sacadas, bem como pelas respectivas frequências), bem como no processamento ortográfico e fonológico (representado nesse estudo, pela velocidade de leitura) de todos os grupos. Ressalta-se, ainda, que o grupo disléxico teve sempre o pior desempenho. Curiosamente e em consonância com o Estudo 1, a manipulação do layout não interferiu no processamento semântico (i.e., compreensão leitora) tanto para disléxicos quanto para normo-leitores.

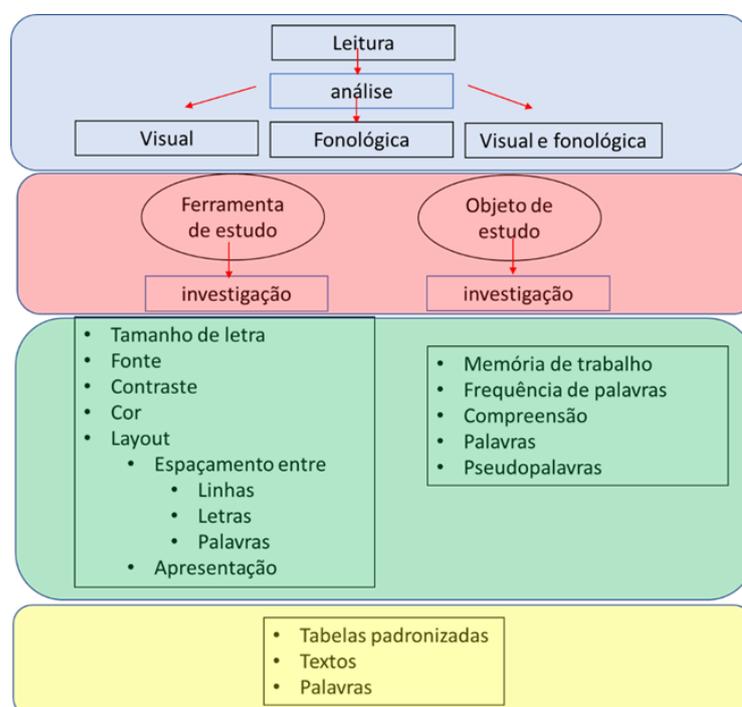
## 8. PERSPECTIVAS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados expostos nesse trabalho representam um ponto de partida para o uso tanto da avaliação das FVL quanto de padrões visuais como ferramentas de identificação e compreensão do comportamento de leitura, sobretudo em indivíduos disléxicos. Como a maior parte dos estudos científicos, cabem por fim, mais perguntas a partir dos resultados obtidos do que respostas definitivas. Portanto, os achados obtidos aqui apresentados, apontam para alguma das possibilidades de avaliação. Pretende-se ainda, especificamente para o Estudo 2, a avaliação pontual do comportamento visual considerando a variável chave: posição ótima de aterrissagem, e a replicação do protocolo com participantes com idioma nativo português brasileiro. Abre-se, portanto, a partir desses estudos, uma nova possibilidade de linha de pesquisa. Por um lado, a utilização das ciências visuais e seu rigor metodológico como ponto de referência para avaliação de indivíduos com dificuldade de leitura, por outro lado, em uma perspectiva mais ampla e “extra-muros”, a aplicação de resultados de forma simples, prática e eficaz na identificação precoce de escolares com dificuldades de leitura.

Até aqui ficou claro que a leitura é uma tarefa complexa e que diversas são as possibilidades de abordagens em protocolos científicos, seja utilizando-a como ferramenta, seja como objeto de estudo. Sendo assim, uma equipe multidisciplinar se faz necessária, como cientistas da visão, oftalmologistas, fonoaudiólogos, psicólogos, psicopedagogos, bioinformatas, dentre outros. Além disso, a escolha do aparato tecnológico e o tratamento dos dados devem ambos serem considerados. Diante do exposto até então, é possível afirmar que diversas são as variáveis que podem influenciar o comportamento do leitor. Recomenda-se assim, a partir da avaliação rigorosa da literatura científica e dos estudos desenvolvidos no presente trabalho que um cuidado especial seja tomado no desenho de protocolos científicos que visem o estudo das ciências visuais durante a leitura. Sendo assim, nessa seção, propõe-se um guia prático que oriente aqueles que desejem trabalhar na investigação da leitura, dadas as devidas proporções de adaptação conforme o contexto da pesquisa.

Foi apresentado anteriormente ao longo dessa tese que a leitura é um processo complexo que exige o orquestramento de diversas funcionalidades, que podem ser de baixo

nível, como a visualização das letras em uma palavra e sua percepção parafoveal, até um processamento mais complexo, de alto nível, como o encontro de significado de dada palavra. Assim sendo, inúmeras são as possibilidades de protocolos que podem ser desenvolvidos tendo como objeto de investigação, ou como ferramenta, a leitura. No primeiro caso, a leitura pode ser utilizada na compreensão de dificuldades de aprendizagem do próprio ato de ler, seus mecanismos, bem como fatores visuais e fonológicos que atuam nele. No segundo, a leitura pode ser utilizada como ferramenta de estudo na investigação dos efeitos de diversas deficiências visuais, como catarata (Stifter et al., 2004), degeneração macular relacionada à idade, baixa visão (Legge, Rubin, Pelli, & Mary, 1985), bem como na avaliação dos tratamentos propostos para essas patologias, como a cirurgia de catarata com implante de lente intraocular (Cillino et al., 2014), a adaptação de auxílios ópticos para pacientes com visão subnormal (Nguyen, Weismann, & Trauzettel-Klosinski, 2009), dentre outros. Para facilitar a compreensão didática, é possível dividir o processo de desenho de protocolo experimental em leitura em 4 etapas. 1. área do estudo, 2. objetivo do uso da leitura, 3. objeto de investigação e por fim, 4. material de leitura. A forma como essas etapas interagem entre si pode ser observada na Figura 36.



**Figura 36. Modelo esquemático representando as diversas etapas que compõem a delimitação de estudos na investigação da leitura. Representado em azul, área do estudo, em vermelho, o objetivo do uso da leitura, em verde, o objeto de investigação, e por fim, em amarelo, o material de leitura. Fonte: o autor.**

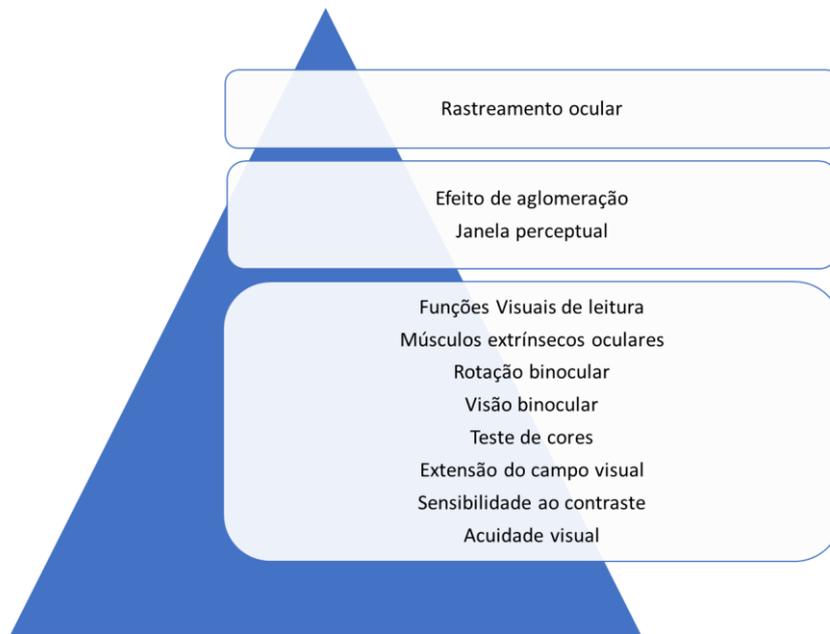
1. Área do estudo: a realização do estudo será dada no âmbito visual, fonológico ou ambos? No último caso, recomenda-se o equilíbrio no desenho do estudo de forma a balancear os aspectos visuais e fonológicos.
2. Objetivo do uso de leitura: deve responder à seguinte pergunta: “a leitura será utilizada como ferramenta ou como objeto de estudo?”
3. Objeto de investigação: para cada área haverá algumas opções de objeto de investigação. Aqui estão referenciadas algumas das possibilidades de estudo conforme a literatura, e podem ser usadas como ponto de partida para aqueles interessados em iniciar estudos com/em leitura.
4. Material de leitura: refere-se ao tipo de material escrito que será utilizado. Aqui também estão apresentadas algumas possibilidades conforme a literatura e que podem servir de guia.

Ao que concerne ao objeto de investigação, de um lado é possível agrupar aqueles que investigam fatores visuais, como fonte ( Rayner et al., 2010, Legge & Bigelow, 2011, Legge & Bigelow, 2011), contraste e cor (Rubin & Legge, 1989), “layout” (Bernard, Anne-Catherine, & Eric, 2007, Rayner et al., 2010, Perea et al., 2016, Perea, Moret-Tatay, & Gómez, 2011, Slattery & Rayner, 2013) e apresentação do texto (Vitu, O’Regan, & Miitau, 1990) e aqueles que investigam fatores psicolinguísticos, como memória de trabalho, frequência de palavras, compreensão e avaliação de palavras e pseudopalavras (e.g., na investigação das rotas de leitura). Ao que diz respeito ao material de leitura, diversos são os testes disponíveis, sejam tabelas padronizadas, textos ou escolha de palavras.

É impossível afirmar qual é o melhor teste de leitura uma vez que diferentes variáveis são avaliadas e deve-se escolhê-los com base nos objetivos do estudo. Tabelas de leitura validadas e padronizadas permitem uma avaliação multicêntrica (Radner, 2017) e em outros idiomas (Brussee, van Nispen, & van Rens, 2014). Brussee et al. (2014) compararam diversas tabelas padronizadas de leitura para vários idiomas (MNREAD, IReST e Radner Reading Charts) e reportaram que a MNREAD teve melhor desempenho em estudos de repetibilidade, a IReST seria mais indicada para estudos inter-linguísticos e a tabela Radner para reprodutibilidade. Esses resultados são promissores, uma vez que, a grande maioria

dos estudos são realizados em idiomas que não o português. É possível esperar que os resultados de estudos realizados em outros idiomas possam ser extrapolados para o PB. Se por um lado é verdade que essas tabelas padronizadas garantem uma boa comparação entre os estudos, por outro, tem limitações em sua validação ecológica. Portanto, ao se optar por tabelas padronizadas que utilizem sentenças sem conexões entre si, opta-se nesse caso, pela acurácia na investigação dos efeitos de tamanho de letra em detrimento da avaliação da leitura natural.

Em suma, do ponto de vista das ciências visuais, recomenda-se que qualquer estudo que almeje a investigação da leitura ou sua utilização como ferramenta deva realizar uma avaliação visual. Como exposto anteriormente, fatores como acuidade visual podem influenciar o desempenho de leitura, bem como fenômenos como o efeito de aglomeração. Sendo assim, recomenda-se seguir o organograma representado pela Figura 37. Como representado na pirâmide, primeiramente devem ser realizadas as avaliações próximas à base, como a avaliação da acuidade visual para longe e perto com e sem correção. Caso a AV não corresponda aos limites determinados pelo estudo, encaminhar para avaliação de um oftalmologista. Além da avaliação de acuidade visual e dependendo do objetivo de estudo, recomenda-se ainda a investigação de sensibilidade ao contraste, extensão do campo visual, teste de cores, avaliação dos músculos extrínsecos oculares, rotação binocular, visão binocular, bem como avaliação das funções visuais de leitura (i.e., acuidade de leitura, tamanho crítico de letra, velocidade máxima de leitura). Em particular, em protocolos de leitura, ainda se faz interessante a investigação de efeito de aglomeração e janela perceptual, a fim de compreender, respectivamente, os efeitos de “embaralhamento” de letras vizinhas, e da extensão da percepção de palavras durante a leitura. Por fim, a avaliação de dados do olhar a partir do uso de um “eyetracker” pode adicionar informações valiosas ao estudo.



**Figura 37. Pirâmide para o protocolo visual. Na base, as avaliações visuais menos complexa, não menos importantes. no topo, as avaliações mais complexas. Fonte: o autor.**

## 9. ANEXOS

### 9.1. Anexo I – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA	
Título da Pesquisa:	Desenvolvimento de uma tabela baseada em frases numéricas para medida da acuidade e velocidade de leitura para perto
Pesquisador Responsável:	PAULO SCHOR
Área Temática:	
Versão:	1
CAAE:	20491913.8.0000.5505
Submetido em:	29/09/2013
Instituição Proponente:	Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP/EPM
Situação da Versão do Projeto:	Aprovado
Localização atual da Versão do Projeto:	Pesquisador Responsável
Patrocinador Principal:	Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB\_COMPROVANTE\_RECEPCAO\_204919

### 9.2. Anexo II – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

#### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

##### *“Desempenho visual durante a leitura”*

Essas informações estão sendo fornecidas para sua participação voluntária neste estudo, que visa avaliar a movimentação ocular durante a leitura para perto.

No estudo serão incluídos sujeitos alfabetizados, de ambos os sexos, que saibam ler e entender números, que tenham acuidade visual para perto, equivalente ou melhor a 0,2 logMAR (20/32), medida com o uso de melhor correção óptica.

Os procedimentos a serem realizados com o Sr(a) serão: medida da acuidade visual para perto e teste de desempenho de leitura.

A medida da acuidade visual para perto com a melhor correção indicada no exame anterior, serve para medir a “quantidade de visão”. Em seguida, será realizado o teste do desempenho de leitura em que frases serão apresentadas em um monitor de computador e lidas em voz alta.

Durante os testes de desempenho de leitura, o Sr(a) estará usando um eyetracker (rastreador de olhar que grava a movimentação ocular) e será realizada a gravação de voz do Sr(a) lendo os textos em voz alta, para posterior análise dos parâmetros biométricos, não invasivos.

Os exames oftalmológicos não são invasivos, não utilizam radiação e não apresentam efeitos adversos diretamente relacionados aos mesmos.

Todos os eventos adversos ou efeitos colaterais que você mencionar ou que forem observados pelo examinador serão registrados.

É garantida aos participantes do estudo a liberdade da retirada de consentimento a qualquer momento e com isto deixar de participar do estudo, sem qualquer prejuízo à continuidade de seu tratamento no nosso Hospital.

As informações obtidas serão analisadas em conjunto com outros sujeitos, não sendo divulgada a identificação de nenhum paciente incluindo o Sr.(a).

O Sr(a) terá o direito de ser mantido atualizado sobre os resultados da pesquisa assim que forem do conhecimento dos pesquisadores.

Não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo, incluindo exames e consultas. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação. Se existir qualquer despesa adicional, ela será absorvida pelo orçamento da pesquisa.

Em caso de dano pessoal, diretamente causado pelos procedimentos ou tratamentos propostos neste estudo (nexo causal comprovado), o participante tem direito a tratamento médico na Instituição, bem como às indenizações legalmente estabelecidas. Os pesquisadores responsáveis se comprometem a utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa.

Em qualquer etapa do estudo, você terá acesso aos profissionais responsáveis pela pesquisa para esclarecimento de eventuais dúvidas. O principal investigador é o Dr. Paulo Schor, CPF-072.190.238-39, e Emanuela Cristina Ramos Gonçalves, CPF 392.972.208-94, telefone: (11) 98721- 3971, que realizará esse estudo e é a pesquisadora assistente. Ambos os pesquisadores podem ser encontrados no endereço:

Rua Botucatu, 822, 2º andar.

Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) – Rua Botucatu, 572 – 1º andar – cj 14, 5571-1062, FAX: 5539-7162 – E-mail: cepunifesp@epm.br.

#### TERMO DE CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo: “Desempenho visual durante a leitura”.

Eu discuti com a pós - graduanda Emanuela C. Ramos Gonçalves e/ou Dr. Paulo Schor e/ou seus colegas participantes do estudo sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas e que tenho garantia do acesso a tratamento hospitalar quando necessário. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo ou perda de qualquer benefício que eu possa ter adquirido, ou no meu atendimento neste Serviço.

---

Assinatura do paciente/representante legal Data \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

---

Assinatura da testemunha Data \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

para casos de pacientes menores de 18 anos, analfabetos, semi-analfabetos ou portadores de deficiência auditiva ou visual.

Declaro que obtive de forma apropriada e voluntária o Consentimento Livre e Esclarecido deste paciente ou representante legal para a participação neste estudo.

---

Assinatura do responsável pelo estudo

## 10. BIBLIOGRAFIA

L. Levin, F. Adler. Adler's Physiology of the Eye. (2011) (11th ed.). Elsevier.

Altarriba, J., Kambe, G., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2001). Semantic codes are not used in integrating information across eye fixations in reading:

Evidence from fluent Spanish-English bilinguals. *Perception & Psychophysics*, 63(5), 875–890. <https://doi.org/10.3758/BF03194444>

Atkinson, J. (1993). *Vision in Dyslexics: Letter Recognition Acuity, Visual Crowding, Contrast Sensitivity, Accommodation, Convergence and Sight Reading Music. Studies in Visual Information Processing (Vol. 3)*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-89949-1.50015-8>

Ávila, C. R. B. de, Kida, A. de S. B., Carvalho, C. A. F. de, & Paolucci, J. F. (2009). Tipologia de erros de leitura de escolares brasileiros considerados bons leitores. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 21(4), 320–325. <https://doi.org/10.1590/S0104-56872009000400010>

Bailey, I. L., & Lovie, J. E. (1976). New Design Principles for Visual Acuity Letter Charts. *Optometry and Vision Science*, 53(11), 740–745. <https://doi.org/10.1097/00006324-197611000-00006>

Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology*, 17(3), 364–390. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(85\)90013-1](https://doi.org/10.1016/0010-0285(85)90013-1)

Beitchman, J. H., & Young, A. R. (1997). Learning Disorders With a Special Emphasis on Reading Disorders: A Review of the Past 10 Years. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 36(8), 1020–1032. <https://doi.org/10.1097/00004583-199708000-00009>

Berckmoes, R. (2014). *The influence of orthographic transparency on word recognition by dyslexic and normal readers*. University Utrecht.

Bernard, J.-B., Anne-Catherine, S., & Eric, C. (2007). Page mode reading with simulated scotomas: A modest effect of interline spacing on reading speed. *Vision Research*, 47(28), 3447–3459. <https://doi.org/10.1016/J.VISRES.2007.10.005>

Berrio, E., Taberner, J., & Artal, P. (2010). Optical aberrations and alignment of the eye with age. *Journal of Vision*, 10(14), 34–34. <https://doi.org/10.1167/10.14.34>

Bicas, H. E. A. (2003). Ocular motility: foundations Oculomotricidade e seus fundamentos. *Arq Bras Oftalmol*, 66, 687–700. Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/abo/v66n5/18162.pdf>

Billard, C., Ducot, B., Pinton, F., Coste-Zeitoun, D., Picard, S., & Warszawski, J. (2006). BREV, une batterie d'évaluation des fonctions cognitives: Validation dans les troubles des apprentissages. *Archives de Pédiatrie*, 13(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2005.09.021>

Bishop, C. (2007). *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York: Springer.

Black, J. L., Collins, D. W. K., De Roach, J. N., & Zubrick, S. (1984). A Detailed Study of Sequential Saccadic Eye Movements for Normal- and Poor-Reading Children. *Perceptual and Motor Skills*, 59(2), 423–434. <https://doi.org/10.2466/pms.1984.59.2.423>

Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: The visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198–230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>

Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letter recognition. *Nature*, 226(5241), 177–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/5437004>

Bouma, H., & Legein, C. P. (1977). Foveal and parafoveal recognition of letters and words by dyslexics and by average readers. *Neuropsychologia*, 15(1), 69–80. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/831155>

Brandt-Kobebe, O.-C. (2014). *Comprehension of verb inflection in German-speaking children*. Univ.-Verl. Retrieved from <https://books.google.com.br/books?id=dtFUBQAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&q=Isbn+1869-3830&source=bl&ots=DFDVjyREwN&sig=TQaTpRpAifCx8IU8C6lwyCMe-ko&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjn3M6Gu9PbAhWHWpAKHUTZAu8Q6AEIKDA#v=onepage&q=Isbn+1869-3830&f=false>

Breitmeyer, B. G. (1980). Unmasking visual masking: a look at the "why" behind the veil of the "how". *Psychological Review*, 87(1), 52–69. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7375608>

Brussee, T., van Nispen, R. M. A., & van Rens, G. H. M. B. (2014). Measurement properties of continuous text reading performance tests. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 34(6), 636–657. <https://doi.org/10.1111/opo.12158>

Brysbaert, M., & Vitu, F. (1998). Word Skipping. In *Eye Guidance in Reading and Scene Perception* (pp. 125–147). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008043361-5/50007-9>

Buswell, G. (1935). *How people look at pictures*. Chicago: The University of Chicago Press. Retrieved from [http://wexler.free.fr/library/files/buswell \(1935\) how people look at pictures.pdf](http://wexler.free.fr/library/files/buswell%20(1935)%20how%20people%20look%20at%20pictures.pdf)

Buswell (G. T.). (1920). *An experimental study of the eye-voice span in reading. Supplementary Educational Monographs* (Vol. 17). Chicago.

Calabrèse, A., Owsley, C., McGwin, G., & Legge, G. E. (2016). Development of a Reading Accessibility Index Using the MNREAD Acuity Chart. *JAMA Ophthalmology*, 134(4), 398. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2015.6097>

Cardoso-Martins, C. (2006). Beginning reading acquisition in Brazilian Portuguese. In J. R. Malatesha & P. G. Aaron (Eds.), *Handbook of Orthography and Literacy*.

Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1983). What your eyes do while your mind is reading. In K. Rayner (Ed.), *Eye Movements in Reading: Perceptual and Language Processes* (pp. 275–307). Academic Press.

Castet, E., Descamps, M., Denis-Noël, A., & Colé, P. (2017). Letter and symbol identification: No evidence for letter-specific crowding mechanisms. *Journal of Vision*, 17(11), 2. <https://doi.org/10.1167/17.11.2>

Castilho, A. (2006). Portuguese. In *Encyclopedia of Language & Linguistics* (Second Ed, pp. 762–765). Oxford: Elsevier.

Cavin, M., Cuisset, M., Cavin, M., Cuisset, M., & De, V. (2014). Validation de l'EDA comme outil de de depistage et critères d'indication orthophonique.

Chiappe, P., Stringer, R., Siegel, L. S., & Stanovich, K. E. (2002). Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing*, *15*(1/2), 73–107. <https://doi.org/10.1023/A:1013868304361>

Chung, S. T. L., & Legge, G. E. (2009). Precision of position signals for letters. *Vision Research*, *49*(15), 1948–1960. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.05.004>

Chung, S. T. L., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (1998). Psychophysics of reading. XVIII. The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision. *Vision Research*, *38*(19), 2949–2962. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00072-8](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00072-8)

Cillino, G., Casuccio, A., Pasti, M., Bono, V., Mencucci, R., & Cillino, S. (2014). Working-Age Cataract Patients: Visual Results, Reading Performance, and Quality of Life with Three Diffractive Multifocal Intraocular Lenses. *Ophthalmology*, *121*(1), 34–44. <https://doi.org/10.1016/J.OPHTHA.2013.06.034>

Coltheart, M. (2006). *Dual route and connectionist models of reading: An overview*. *London Review of Education* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1080/13603110600574322>

Coltheart, M. (2013). Modelando a leitura: a abordagem da dupla rota. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *A ciência da leitura* (pp. 24–41). Porto Alegre: Penso.

Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: a dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108*(1), 204–56. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11212628>

Cornelissen, P., Richardson, A., Mason, A., Fowler, S., & Stein, J. (1995). Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls. *Vision Research*, *35*(10), 1483–94. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7645277>

Cossu, G., Shankweiler, D., Liberman, I. Y., & Gugliotta, M. (1995). Visual and phonological determinants of misreadings in a transparent orthography. *Reading and Writing*, 7(3), 237–256. <https://doi.org/10.1007/BF02539523>

Crossland, M. D., Legge, G. E., & Dakin, S. C. (2008). The development of an automated sentence generator for the assessment of reading speed. *Behavioral and Brain Functions : BBF*, 4, 14. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-4-14>

de Castro, C. T. M., Kallie, C. S., & Solamão, S. R. (2005). Development and validation of the MNREAD reading acuity chart in Portuguese. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 68(6), 777–783. <https://doi.org/10.1590/S0004-27492005000600013>

DeFries, J. C., Fulker, D. W., & LaBuda, M. C. (1987). Evidence for a genetic aetiology in reading disability of twins. *Nature*, 329(6139), 537–539. <https://doi.org/10.1038/329537a0>

Dehaene, S. (2007). *Les neurones de la lecture*. Paris: Odile Jacob.

Demb, J. B., Boynton, G. M., Best, M., & Heeger, D. J. (1998). Psychophysical evidence for a magnocellular pathway deficit in dyslexia. *Vision Research*, 38(11), 1555–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9747491>

Demb, J. B., Boynton, G. M., & Heeger, D. J. (1998). Functional magnetic resonance imaging of early visual pathways in dyslexia. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 18(17), 6939–51. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9712663>

Doron, R., Spierer, A., & Polat, U. (2015). How crowding, masking, and contour interactions are related: A developmental approach. *Journal of Vision*, 15(8), 5. <https://doi.org/10.1167/15.8.5>

Dufft, S. A., Morris, R. K., & Rayner, K. (1988). Lexical Ambiguity and Fixation Times in Reading. *JOURNAL OF MEMORY AND LANGUAGE*, 27, 429–446. Retrieved from <https://ac.els-cdn.com/0749596X88900666/1-s2.0->

0749596X88900666-main.pdf?\_tid=3a428538-07fc-11e8-9402-

00000aacb35d&acdnat=1517564232\_42346351eb61c284a8f91beaa7dfd8fe

Eden, G. F., VanMeter, J. W., Rumsey, J. M., Maisog, J. M., Woods, R. P., & Zeffiro, T. A. (1996). Abnormal processing of visual motion in dyslexia revealed by functional brain imaging. *Nature*, 382(6586), 66–69. <https://doi.org/10.1038/382066a0>

Engbert, R., Longtin, A., & Kliegl, R. (2002). A dynamical model of saccade generation in reading based on spatially distributed lexical processing. *Vision Research*, 42(5), 621–636. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00301-7](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00301-7)

Engbert, R., Nuthmann, A., Richter, E. M., & Kliegl, R. (2005). SWIFT: A Dynamical Model of Saccade Generation During Reading. *Psychological Review*, 112(4), 777–813. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.112.4.777>

Enns, J. T., & Akhtar, N. (1989). A developmental study of filtering in visual attention. *Child Development*, 60(5), 1188–99. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2805896>

Estivalet, G. L., & Meunier, F. (2015). The Brazilian Portuguese Lexicon: An Instrument for Psycholinguistic Research. *PLoS ONE*, 10(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144016>

Everatt, J., & Underwood, G. (1994). Individual Differences in Reading Subprocesses: Relationships Between Reading Ability, Lexical Access, and Eye Movement Control. *Language and Speech*, 37(3), 283–297. <https://doi.org/10.1177/002383099403700305>

Facoetti, A., Luisa Lorusso, M., Paganoni, P., Umilt, C., & Gastone Mascetti, G. (2003). The role of visuospatial attention in developmental dyslexia: Evidence from a rehabilitation study. *Cognitive Brain Research*, 15(2), 154–164. [https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00148-9](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00148-9)

Feng, G. (2006). Eye movements as time-series random variables: A stochastic model of eye movement control in reading. *Cognitive Systems Research*, 7(1), 70–95. <https://doi.org/10.1016/J.COGSYS.2005.07.004>

Ferrand, L. (2001). *Cognition et Lecture*. Bruxelles: DeBoeck.

Fisher, S. E., & DeFries, J. C. (2002). Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(10), 767–780. <https://doi.org/10.1038/nrn936>

Friedmann, N., & Coltheart, M. (2018). Types of developmental dyslexia. In A. Bar-On, E. Dattner, & D. Ravid (Eds.), *Handbook of communication disorders* (pp. 721–752). De Gruyter.

Galaburda, A. M., & Kemper, T. L. (1979). Cytoarchitectonic abnormalities in developmental dyslexia: A case study. *Annals of Neurology*, 6(2), 94–100. <https://doi.org/10.1002/ana.410060203>

Galaburda, A. M., Menard, M. T., & Rosen, G. D. (1994). Evidence for aberrant auditory anatomy in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(17), 8010–3. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8058748>

Germano, G. D., Reilhac, C., Capellini, S. A., & Valdois, S. (2014). The phonological and visual basis of developmental dyslexia in Brazilian Portuguese reading children. *Frontiers in Psychology*, 5(October), 1169. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01169>

Gori, S., & Facoetti, A. (2015). How the visual aspects can be crucial in reading acquisition? The intriguing case of crowding and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 15(1), 8–8. <https://doi.org/10.1167/15.1.8>

Goswami, U. (2000). Phonological representations, reading development and dyslexia: towards a cross-linguistic theoretical framework. *Dyslexia*, 6(2), 133–151. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0909\(200004/06\)6:2<133::AID-DYS160>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0909(200004/06)6:2<133::AID-DYS160>3.0.CO;2-A)

Grainger, J. (2003). Moving Eyes and Reading Words: How Can a Computational Model Combine the Two? *The Mind's Eye*, 457–470. <https://doi.org/10.1016/B978-044451020-4/50025-6>

Grainger, J. (2008). Cracking the orthographic code: An introduction. *Language and Cognitive Processes*, 23(1), 1–35. <https://doi.org/10.1080/01690960701578013>

Grainger, J., Tydgate, I., & Issele, J. (2010). Crowding affects letters and symbols differently. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(3), 673–688. <https://doi.org/10.1037/a0016888>

Grigorenko, E. L. (2001). Developmental dyslexia: an update on genes, brains, and environments. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, and Allied Disciplines*, 42(1), 91–125. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11205626>

Guimarães, S. R. K. (2004). Dislexias adquiridas como referência para a análise das dificuldades de aprendizagem da leitura. *Educar Em Revista*, (23), 285–306. <https://doi.org/10.1590/0104-4060.343>

Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: an overview and working hypothesis. *Brain: A Journal of Neurology*, 123 Pt 12, 2373–99. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11099442>

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (1999). Phonology, Reading Acquisition, and Dyslexia: Insights from Connectionist Models. *Psychological Review*, 106(3), 491–528. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/6a2f/0c80716aed32eaff2120c285a4d82d908c54.pdf>

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2001). Are There Orthographic Impairments in Phonological Dyslexia? *Cognitive Neuropsychology*, 18(1), 71–92. <https://doi.org/10.1080/02643290125986>

Harm, M. W., & Seidenberg, M. S. (2004). Computing the Meanings of Words in Reading: Cooperative Division of Labor Between Visual and Phonological Processes. *Psychological Review*, 111, 662–720. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.14.4088&rep=rep1&type=pdf>

Haykin, S. (1998). *Neural Networks: a comprehensive foundation*. (P. Hall, Ed.) (2 edition).

HELENE, Otaviano; HELENE, André Frazão. Alguns aspectos da óptica do olho humano. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo , v. 33, n. 3, p. 1-

8, Sept. 2011. Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1806-11172011000300012&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172011000300012&lng=en&nrm=iso).

Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1993). Eye movement control during reading: fixation measures reflect foveal but not parafoveal processing difficulty. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne de Psychologie Experimentale*, 47(2), 201–21. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8364530>

Henderson, J. M., Weeks, P. A. . J., & Hollingworth, A. (1999). The effects of semantic consistency on eye movements during complex scene viewing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(1), 210–228. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.1.210>

Huey, E. B. (1908). *The Psychology and Pedagogy of Reading*. New York: Macmillan. Retrieved from [http://pubman.mpg.de/pubman/item/escidoc:2347473:2/component/escidoc:2347472/Huey\\_1908\\_Psychology\\_Pedagogy.pdf](http://pubman.mpg.de/pubman/item/escidoc:2347473:2/component/escidoc:2347472/Huey_1908_Psychology_Pedagogy.pdf)

Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*, 89(1), 235–242. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00401-2](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00401-2)

Hyönä, J. (1995). Do irregular letter combinations attract readers' attention? Evidence from fixation locations in words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 68–81. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.1.68>

Hyönä, J., & Olson, R. K. (1995). Eye fixation patterns among dyslexic and normal readers: effects of word length and word frequency. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, 21(6), 1430–40. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7490575>

Inhoff, A. W., & Rayner, K. (1986a). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, 40(6), 431–439. <https://doi.org/10.3758/BF03208203>

Inhoff, A. W., & Rayner, K. (1986b). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, 40(6), 431–439. <https://doi.org/10.3758/BF03208203>

Inhoff, A. et al. (n.d.). Parafovea to fovea priming during eye fixations in reading. *Percept. Psychophys.* (in Press).

Jankov, M., Mrochen, M., Schor, P., Chamon, W., & Seiler, T. (2002). Frentes de onda (wavefronts) e limites da visão humana. Parte 1: Fundamentos. *Arquivos Brasileiros de Oftalmologia*, 65(6), 679–84.

Javal, L. E. (1905). *Physiologie de la lecture et de l'écriture*.

Jenner, A. R., Rosen, G. D., & Galaburda, A. M. (1999). Neuronal asymmetries in primary visual cortex of dyslexic and nondyslexic brains. *Annals of Neurology*, 46(2), 189–96. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10443884>

Joseph, H. S. S. L., Liversedge, S. P., Blythe, H. I., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Word length and landing position effects during reading in children and adults. *Vision Research*, 49(16), 2078–2086. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.05.015>

Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87(4), 329–354. Retrieved from <http://repository.cmu.edu/psychology>

Kaakinen, J. K., & Hyönä, J. (2010). Task effects on eye movements during reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(6), 1561–1566. <https://doi.org/10.1037/a0020693>

Keirl, A., & Christie, C. (2007). *Clinical Optics and Refraction - A guide for optometrists, contact lens opticians and dispensing opticians* (1st ed.). Elsevier.

Kennedy, A., & Pynte, J. (2008). The consequences of violations to reading order: An eye movement analysis. *Vision Research*, 48(21), 2309–2320. <https://doi.org/10.1016/J.VISRES.2008.07.007>

Kliegl, R. (2007). Toward a Perceptual-Span Theory of Distributed Processing in Reading: A Reply to Rayner, Pollatsek, Drieghe, Slattery, and

Reichle (2007), 530–537. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1037/0096-3445.136.3.530.supp>

Kliegl, R., Nuthmann, A., & Engbert, R. (2006). Tracking the Mind During Reading: The Influence of Past, Present, and Future Words on Fixation Durations. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(1), 12–35.

Krieger, M., Bartl-Pokorny, K. D., Pokorny, F. B., Einspieler, C., Langmann, A., Körner, C., ... Marschik, P. B. (2016). The Relation between Reading Skills and Eye Movement Patterns in Adolescent Readers: Evidence from a Regular Orthography. *PLOS ONE*, *11*(1), e0145934. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145934>

Lachmann, T., & Geyer, T. (2003). Proof Letter reversals in dyslexia: Is the case really closed? A critical review and conclusions. *Psychology Science*, *45*, 50–72. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Thomas\\_Lachmann/publication/229018917\\_Reversals\\_in\\_reading\\_-\\_Is\\_the\\_case\\_really\\_closed\\_A\\_critical\\_review\\_and\\_conclusions/links/09e4150befb3038ec5000000.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Lachmann/publication/229018917_Reversals_in_reading_-_Is_the_case_really_closed_A_critical_review_and_conclusions/links/09e4150befb3038ec5000000.pdf)

Landerl, K. (1997). The impact of orthographic consistency on dyslexia.pdf, *63*, 315–334.

Legge, G. E., & Bigelow, C. a. (2011). Does print size matter for reading? A review of findings from vision science and typography. *Journal of Vision*, *11*(2011), 1–22. <https://doi.org/10.1167/11.5.8>

Legge, G. E., Hooven, T. A., Klitz, T. S., Stephen Mansfield, J. S., & Tjan, B. S. (2002). Mr. Chips 2002: new insights from an ideal-observer model of reading. *Vision Research*, *42*(18), 2219–234. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12207981>

Legge, G. E., Klitz, T. S., & Tjan, B. S. (1997). Mr. Chips: an ideal-observer model of reading. *Psychological Review*, *104*(3), 524–53. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9243963>

Legge, G. E., Parish, D. H., Luebker, A., & Wurm, L. E. E. H. (1990). R11- Psychophysics of Reading : Xi . Comparing Color Contrast. *Journal of the Optical Society of America A*, 7(10), 2002–2010. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.7.002002>

Legge, G. E., Ross, J. a, Luebker, a, & Lamay, J. (1989). Psychophysics of Reading: Viii. the Minnesota Low-Vision Reading Test. *Optometry and Vision Science*, 66, 843–853. <https://doi.org/10.1097/00006324-198912000-00008>

Legge, G. E., Rubin, G. S., Pelli, D. G., & Mary, M. (1985). Psychophysics of reading ii. low vision 1. *Psychophysics of Reading*, 25(2), 253–266. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90118-X)

Lesèvre, N. (1968). L'organisation du regard chez des enfants d'âge scolaire, lecteurs normaux et dyslexiques (étude électro-oculographique). *Révue de Neuropsychiatrie Infantile*, 16, 323–349.

Lesèvre, N. (1976). Les mouvements oculaires d'exploration. Etude électro- oculo graphique comparée d'enfants normaux et d'enfants dyslexiques. *Electro-Oculographie et Lecture, Bulletin d' Audiophonologie*, 39–109.

Levin, L. A., Nilsson, S. F. E., Hove, V. J., & Wu, S. M. (2011a). *Adler ' S Physiology of the Eye*.

Levin, L. A., Nilsson, S. F. E., Hove, V. J., & Wu, S. M. (2011b). *Adler ' S Physiology of the Eye* (p. 795).

Lévy-Schoen, A. (1981). Flexible and/or rigid control of oculomotor scanning behavior. In D. Fisher, R. Monty, & J. Senders (Eds.), *Eye movements: Cognition and visual perception* (pp. 299–316). Erlbaum.

Liversedge. (2000). Saccadic eye movements and cognition. *Trends in Cognitive Science*, 4(1), 6–14. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01418-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01418-7)

Lombardo, M., Serrao, S., Devaney, N., Parravano, M., & Lombardo, G. (2012). Adaptive Optics Technology for High-Resolution Retinal Imaging. *Sensors*, 13(1), 334–366. <https://doi.org/10.3390/s130100334>

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11881-003-0001-9>

Lyytinen, H., Aro, M., Eklund, K., Erskine, J., Guttorm, T., Laakso, M.-L., ... Torppa, M. (2004). The development of children at familial risk for dyslexia: birth to early school age. *Annals of Dyslexia*, 54(2), 184–220. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15741935>

MacKeben, M., Trauzettel-Klosinski, S., Reinhard, J., Durrwachter, U., Adler, M., & Klosinski, G. (2004). Eye movement control during single-word reading in dyslexics. *Journal of Vision*, 4(5), 4–4. <https://doi.org/10.1167/4.5.4>

Maïonchi-Pino, N. (2008). *Le traitement syllabique chez l'enfant normo-lecteur et dyslexique: rôle des caractéristiques linguistiques du français*. Université Lumière Lyon 2.

Mansfield, J. S., Legge, G. E., & Bane, M. C. (1996). Psychophysics of reading. XV: Font effects in normal and low vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 37(8), 1492–501. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8675391>

Mansfield, S., Legge, G. E., & Bane, M. C. (2016). Psychophysics of Reading XV : Font Effects in Normal and Low Vision Everyone wanted to go outside when the We both raced into the yard when we heard the fire bell, 37(8), 1492–1501.

Marcel, T. (1974). The effective visual field and the use of context in fast and slow readers of two ages. *British Journal of Psychology*, 65, 479–492.

Martelli, M., Filippo, G. Di, Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (2009). Crowding , reading , and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.1167/9.4.14.Introduction>

Martelli, M., Filippo, G. Di, Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (2017). Crowding , reading , and developmental dyslexia Marialuisa Martelli, 9(2009), 1–18. <https://doi.org/10.1167/9.4.14.Introduction>

Martin, J., Colé, P., Leuwers, C., Casalis, S., Zorman, M., & Sprenger-Charolles, L. (2010). Reading in French-speaking adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, *60*(2), 238–264. <https://doi.org/10.1007/s11881-010-0043-8>

McConkie, G. W., Kerr, P. W., Reddix, M. D., & Zola, D. (1988). Eye movement control during reading: I. The location of initial eye fixations on words. *Vision Research*, *28*(10), 1107–18. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3257013>

McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *17*(6), 578–586. <https://doi.org/10.3758/BF03203972>

McConkie, G. W., Zola, D., Grimes, J., Kerr, P. W., Bryant, N. R., & Wolff, P. M. (1991). Children's eye movements during reading. In *Vision and visual dyslexia* (pp. 251–262). London Macmillian Press.

McDonald, S. A. (2006). Parafoveal preview benefit in reading is only obtained from the saccade goal. *Vision Research*, *46*(26), 4416–4424. <https://doi.org/10.1016/J.VISRES.2006.08.027>

McDonald, S. A., Carpenter, R. H. S., & Shillcock, R. C. (2005). An Anatomically Constrained, Stochastic Model of Eye Movement Control in Reading. *Psychological Review*, *112*(4), 814–840. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.112.4.814>

Morris, R. K. (1994). Lexical and message-level sentence context effects on fixation times in reading. *Journal of Experimental Psychology. Learning, Memory, and Cognition*, *20*(1), 92–103. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8138791>

Morton, J. (1964). The effects of context upon speed of reading, eye movements and eye voice span. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *16*, 340–354.

Mota, M. M. P. E. da, Vieira, M. de T., Bastos, R. R., Dias, J., Paiva, N., Mansur-Lisboa, S., & Andrade-Silva, D. (2012). Leitura contextual e processamento metalingüístico no português do Brasil: um estudo longitudinal.

*Psicologia: Reflexão E Crítica*, 25(1), 114–120. <https://doi.org/10.1590/S0102-79722012000100014>

Murray, W. S., & Rowan, M. (1998). Early, Mandatory, Pragmatic Processing. *Journal of Psycholinguistic Research*, 27(1), 1–22. <https://doi.org/10.1023/A:1023233406227>

New, B., Pallier, C., Brysbaert, M., & Ferrand, L. (2004). Lexique 2: a new French lexical database. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 36(3), 516–24. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15641440>

Nguyen, N. X., Weismann, M., & Trauzettel-Klosinski, S. (2009). Improvement of reading speed after providing of low vision aids in patients with age-related macular degeneration. *Acta Ophthalmologica*, 87(8), 849–853. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2008.01423.x>

Norgett, Y., & Siderov, J. (2014). Foveal crowding differs in children and adults. *Journal of Vision*, 14(12), 23–23. <https://doi.org/10.1167/14.12.23>

Norgett, Y., & Siderov, J. (2014). Foveal crowding differs in children and adults. *Journal of Vision*, 14(2014), 1–10. <https://doi.org/10.1167/14.12.23>

Norris, D. (2013). Models of visual word recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(10), 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.08.003>

O'Brien, B. A., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 332–349. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00273.x>

O'Brien, B. A., Mansfield, J. S., & Legge, G. E. (2005). The effect of print size on reading speed in dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 332–349. [https://doi.org/S0042-6989\(00\)00041-9](https://doi.org/S0042-6989(00)00041-9) [pii]

O'Regan, J. . (1981). The convenient viewing position hypothesis. In *Eye Movements, Cognition and Visual Perception* (pp. 289–298). Erlbaum.

O'Regan, J. K. (1990). Eye movements and reading. *Reviews of Oculomotor Research*, 4, 395–453. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7492534>

O'Regan, J. K. (1992). Optimal viewing position in words and the strategy–tactics theory of eye movements in reading. In *Eye Movements and Visual Cognition: Scene Perception and Reading* (pp. 333–354). Springer-Verlag.

O'Regan, J. K., & Lévy-Schoen, A. (1987). Eye-movement strategy and tactics in word recognition and reading. In M. Coltheart (Ed.), *Attention and performance 12: The psychology of reading* (pp. 363–383). Hillsdale, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.

O'Regan, K., & Lévy-Schoen, A. (1978). Les mouvements des yeux au cours de la lecture. *L'année Psychologique*, 78(2), 459–491. <https://doi.org/10.3406/psy.1978.28259>

O'regan, K. (1979). Saccade size control in reading: Evidence for the linguistic control hypothesis. *Perception & Psychophysics*, 25(6), 501–509. Retrieved from <https://link.springer.com/content/pdf/10.3758/BF03213829.pdf>

Oliveira, A. M. de, & Capellini, S. A. (2010). School-aged children's performance in the Brazilian adaptation of the reading processes assessment. *Pro-Fono: Revista de Atualizacao Cientifica*, 22(4), 555–60. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21271116>

Olson, R. K., Kliegl, R., & Davidson, B. J. (1983). Eye movements and reading disability. In *Eye movements in reading: Perceptual and language processes* (pp. 467–480). New York: Academic Press.

Olson, R., Kliegl, R., & J. Davidson, B. (1983). *Dyslexic and normal readers' eye movements*. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* (Vol. 9). <https://doi.org/10.1037/0096-1523.9.5.816>

Pastò, L., & Burack, J. A. (1997). A developmental study of visual attention: Issues of filtering efficiency and focus. *Cognitive Development*, 12(4), 523–535. [https://doi.org/10.1016/S0885-2014\(97\)90021-6](https://doi.org/10.1016/S0885-2014(97)90021-6)

Pavlidis, G. T. (1981). Do eye movements hold the key to dyslexia? *Neuropsychologia*, 19(1), 57–64. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(81\)90044-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(81)90044-0)

Pelli, D. G., & Robson, J. G. (1988). The Design of a New Letter Chart for Measuring Contrast Sensitivity. *Clinical Vision Science*, 2(3), 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2012.11.013>

Pelli, D. G., Tillman, K. A., Freeman, J., Su, M., Berger, T. D., & Majaj, N. J. (2007). Crowding and eccentricity determine reading rate. *Journal of Vision*, 7(2), 20. <https://doi.org/10.1167/7.2.20>

Perea, M., Giner, L., Marcet, A., & Gomez, P. (2016). Does Extra Interletter Spacing Help Text Reading in Skilled Adult Readers? *The Spanish Journal of Psychology*, 19(e26), 1–7. <https://doi.org/10.1017/sjp.2016.28>

Perea, M., & Gomez, P. (2012). Increasing interletter spacing facilitates encoding of words. *Psychonomic Bulletin & Review*, 19(2), 332–338. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0214-6>

Perea, M., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2011). The effects of interletter spacing in visual-word recognition. *Acta Psychologica*, 137(3), 345–351. <https://doi.org/10.1016/J.ACTPSY.2011.04.003>

Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22(6), 420–430. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2012.04.001>

Pinheiro, Â., & Alice Mattos Pimenta Parente, M. (1999). *Estudo de caso de um paciente com dislexia periférica e as implicações dessa condição nos processamentos centrais / Study of case of a patient with peripheral dyslexia. Pró-fono: revista de atualização científica* (Vol. 11).

Pinheiro, Â. M. V. (1994). *Leitura e escrita: uma abordagem cognitiva*. Campinas: Editorial Psy.

Pinheiro, Â. M. V., & Neves, R. R. (2001). Avaliação cognitiva de leitura e escrita: as tarefas de leitura em voz alta e ditado. *Psicologia: Reflexão E Crítica*, 14(2), 399–408.

Pinheiro, Â. M. V., Rezende, C., & Lúcio, P. S. (2008). Tarefa de leitura de palavras em voz alta: uma proposta de análise dos erros. *Revista Portuguesa de Educação*, 21(2), 115–138.

Pirozzolo, F. J., & Rayner, K. (1979). The Neural Control of Eye Movements in Acquired and Developmental Reading Disorders. In *Studies in Neurolinguistics* (pp. 97–123). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746304-9.50009-4>

Plainis, S., Tzatzala, P., Orphanos, Y., & Tsilimbaris, M. (2007). A Modified ETDRS Visual Acuity Chart for European-Wide Use. *Optometry and Vision Science*, 84(7), 647–653. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e3180dc9a60>

Plaut, D. C., McClelland, J. L., Seidenberg, M. S., & Patterson, K. (1996). Understanding Normal and Impaired Word Reading: Computational Principles in Quasi-Regular Domains, 103(1), 56–115. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.442.2742&rep=rep1&type=pdf>

Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests of the E-Z Reader model: Exploring the interface between cognition and eye-movement control. *Cognitive Psychology*, 52(1), 1–56. <https://doi.org/10.1016/J.COGLPSYCH.2005.06.001>

Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al., E. (2001). *Neuroscience* (2nd editio). Sunderland (MA).

Radach, R., & Heller, D. (2000). Relations Between Spatial and Temporal Aspects of Eye Movement Control. In *Reading as a Perceptual Process* (pp. 165–191). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-008043642-5/50010-3>

Radach, R., & McConkie, G. W. (1998). Determinants of fixation positions in words during reading. *Eye Guidance in Reading and Scene Perception*, 77–100. <https://doi.org/10.1016/B978-008043361-5/50005-5>

Radner, W. (2017). Reading charts in ophthalmology. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 255(8), 1465–1482. <https://doi.org/10.1007/s00417-017-3659-0>

Ramat, S., Leigh, R. J., Zee, D. S., & Optican, L. M. (2006). What clinical disorders tell us about the neural control of saccadic eye movements. *Brain*, *130*(1), 10–35. <https://doi.org/10.1093/brain/awl309>

Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *Trends in Neurosciences*, *27*(12), 720–726. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2004.10.004>

Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain: A Journal of Neurology*, *126*(Pt 4), 841–65. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12615643>

Raney, G. E., & Rayner, K. (1995). Word frequency effects and eye movements during two readings of a text. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne de Psychologie Experimentale*, *49*(2), 151–72. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9183975>

Rayner, K. (1975a). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, *7*(1), 65–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90005-5)

Rayner, K. (1975b). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, *7*(1), 65–81. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90005-5)

Rayner, K. (1979). Eye Guidance in Reading: Fixation Locations within Words. *Perception*, *8*(1), 21–30. <https://doi.org/10.1068/p080021>

Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *41*(2), 211–36. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3701249>

Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research, *124*(3), 372–422. Retrieved from [http://wexler.free.fr/library/files/rayner \(1998\) eye movements in reading and information processing. 20 years of research.pdf](http://wexler.free.fr/library/files/rayner%20(1998)%20eye%20movements%20in%20reading%20and%20information%20processing.%2020%20years%20of%20research.pdf)

Rayner, K. (2009a). Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(8), 1457–1506. <https://doi.org/10.1080/17470210902816461>

Rayner, K. (2009b). Eye Movements in Reading: Models and Data. *Journal of Eye Movement Research*, 2(5), 1–10. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20664810>

Rayner, K., Ashby, J., Pollatsek, A., & Reichle, E. D. (2004). The Effects of Frequency and Predictability on Eye Fixations in Reading: Implications for the E-Z Reader Model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(4), 720–732. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.30.4.720>

Rayner, K., Balota, D. A., & Pollatsek, A. (1986). Against parafoveal semantic preprocessing during eye fixations in reading. *Canadian Journal of Psychology*, 40(4), 473–83. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3502884>

Rayner, K., & Duffy, S. A. (1986). Lexical complexity and fixation times in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. *Memory & Cognition*, 14(3), 191–201. <https://doi.org/10.3758/BF03197692>

Rayner, K., & Fischer, M. H. (1996). Mindless reading revisited: Eye movements during reading and scanning are different. *Perception & Psychophysics*, 58(5), 734–747. <https://doi.org/10.3758/BF03213106>

Rayner, K., Fischer, M. H., & Pollatsek, A. (1998). Unspaced text interferes with both word identification and eye movement control. *Vision Research*, 38(8), 1129–1144. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)00274-5](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)00274-5)

Rayner, K., & Juhasz, B. (2004). Eye movements in reading: Old questions and new directions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 16(1–2), 340–352. <https://doi.org/10.1080/09541440340000385>

Rayner, K., Juhasz, B., Ashby, J., & Clifton, C. (2003). Inhibition of saccade return in reading. *Vision Research*, 43(9), 1027–34. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12676245>

Rayner, K., Juhasz, B. J., & Brown, S. J. (2007). Do readers obtain preview benefit from word  $n + 2$ ? A test of serial attention shift versus distributed lexical processing models of eye movement control in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(1), 230–245. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.33.1.230>

Rayner, K., & McConkie, G. W. (1976). What guides a reader's eye movements? *Vision Research*, 16(8), 829–37. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/960610>

Rayner, K., & Morris, R. K. (1992). Eye movement control in reading: evidence against semantic preprocessing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1), 163–72. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1532186>

Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The psychology of reading*. Prentice Hall. Retrieved from <https://eric.ed.gov/?id=ED301851>

Rayner, K., Pollatsek, A., Liversedge, S. P., & Reichle, E. D. (2009). Eye movements and non-canonical reading: Comments on Kennedy and Pynte (2008). *Vision Research*, 49(17), 2232–2236. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.10.013>

Rayner, K., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading and visual search: Effects of word frequency. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(2), 245–248. <https://doi.org/10.3758/BF03212426>

Rayner, K., & Reichle, E. D. (2010). Models of the reading process. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 1(6), 787–799. <https://doi.org/10.1002/wcs.68>

Rayner, K., Sereno, S. C., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading: a comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(5), 1188–200. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8865619>

Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(6), 834–9. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.6.834>

Rayner, K., & Well, A. D. (1996). Effects of contextual constraint on eye movements in reading: A further examination. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3(4), 504–509. <https://doi.org/10.3758/BF03214555>

Rayner, K., Well, A. D., Pollatsek, A., & Bertera, J. H. (1982). The availability of useful information to the right of fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 31(6), 537–550. <https://doi.org/10.3758/BF03204186>

Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2009). Encoding multiple words simultaneously in reading is implausible. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(3), 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.12.002>

Reichle, E. D., Pollatsek, A., Fisher, D. L., & Rayner, K. (1998). Toward a model of eye movement control in reading. *Psychological Review*, 105(1), 125–57. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9450374>

Reichle, E. D., Pollatsek, A., & Rayner, K. (2006). E–Z Reader: A cognitive-control, serial-attention model of eye-movement behavior during reading. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2005.07.002>

Reichle, E. D., Rayner, K., & Pollatsek, A. (2003). *The E-Z reader model of eye-movement control in reading: comparisons to other models. The Behavioral and brain sciences* (Vol. 26). <https://doi.org/10.1017/S0140525X03000104>

Reichle, E. D., Warren, T., & McConnell, K. (2009). Using E-Z Reader to model the effects of higher level language processing on eye movements during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 16(1), 1–21. <https://doi.org/10.3758/PBR.16.1.1>

Reilly, R. G., & O'Regan, J. K. (1998). Eye movement control during reading: A simulation of some word-targeting strategies. *Vision Research*, 38(2), 303–317. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(97\)87710-3](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(97)87710-3)

Reilly, R. G., & Radach, R. (2005). Some empirical tests of an interactive activation model of eye movement control in reading. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2005.07.006>

Rubin, & Legge. (1989). Psychophysics of reading-VI. the role of contrast in low vision. *Vision Research*, 29(29), 79–91.

Rumsey, J. M., Nace, K., Donohue, B., Wise, D., Maisog, J. M., & Andreason, P. (1997). A positron emission tomographic study of impaired word recognition and phonological processing in dyslexic men. *Archives of Neurology*, 54(5), 562–73. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9152113>

Salles, J. F., Parente, M. A. D. M. P., & Machado, S. da S. (2004). As dislexias do desenvolvimento: aspectos neuropsicológicos e cognitivos. *INTERAÇÕES*, 109–132.

Salles, J. F. de, & Parente, M. A. de M. P. (2002). Processos cognitivos na leitura de palavras em crianças: relações com compreensão e tempo de leitura. *Psicologia: Reflexão E Crítica*, 15(2), 321–331. <https://doi.org/10.1590/S0102-79722002000200010>

Salvucci, D. D. (2001). An integrated model of eye movements and visual encoding. *Cognitive Systems Research*, 1(4), 201–220. [https://doi.org/10.1016/S1389-0417\(00\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S1389-0417(00)00015-2)

Sardeira, M., & Pereira, L. M. (2015). Eye Movements of Beginning and more Skilled Readers. *Journal of Eye Tracking, Visual Cognition and Emotion*, (2). Retrieved from <http://revistas.ulusofona.pt/index.php/JETVCE/article/view/2721>

SCARINCI, Anne L.; MARINELI, Fábio. O modelo ondulatório da luz como ferramenta para explicar as causas da cor. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, [s.l.], v. 36, n. 1, mar. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1806-11172014000100009>.

Scheiman, M., Scheiman, M., & Whittaker, S. (2007). *Low vision rehabilitation: a practical guide for occupational therapists*. SLACK Inc. Retrieved from

<https://books.google.fr/books?id=xGKXuM7H6SMC&pg=PA164&lpg=PA164&dq=critical+print+size&source=bl&ots=w3erasLynZ&sig=0w8NaEKLFh0IOqNQ82L2MMQ77k4&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwj4-NufiOHYAhWGZVAKHfRcDcsQ6AEIVjAG#v=onepage&q=criticalprintsize&f=false>

Seidenberg, M. S., McClelland, J. L., & Seidenberg, S. (1989). A Distributed, Developmental Model of Word Recognition and Naming, *96*(4), 523–568. Retrieved from <http://lcnl.wisc.edu/wp-content/uploads/2016/08/Seidenberg-M.-S.-McClelland-J.-L.-1989.-A-distributed-developmental-model-of-word-recognition-and-naming.pdf>

Seidenberg, M. S., & Plaut, D. C. (2006). From inmarks to ideas: current issues in lexical processing. In S. Andrews (Ed.), *Harm & Seidenberg*. Hove, UK: Psychology Press. Retrieved from <http://www.cnbc.pitt.edu/~plaut/papers/pdf/SeidenbergPlaut06chap.dataFitting.pdf>

Seki, A., Koeda, T., Sugihara, S., Kamba, M., Hirata, Y., Ogawa, T., & Takeshita, K. (2001). A functional magnetic resonance imaging study during sentence reading in Japanese dyslexic children. *Brain & Development*, *23*(5), 312–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11504602>

Serrano, F., & Defior, S. (2008). Dyslexia speed problems in a transparent orthography. *Annals of Dyslexia*, *58*(1), 81–95. <https://doi.org/10.1007/s11881-008-0013-6>

Seymour, P. H. K., Aro, M., & Erskine, J. M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, *94*(2), 143–174. <https://doi.org/10.1348/000712603321661859>

Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., ... Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, *52*(2), 101–10. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12114001>

Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biological Psychiatry*, *57*(11), 1301–1309. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>

Shiota, M., Koeda, T., & Takeshita, K. (2000). Cognitive and neurophysiological evaluation of Japanese dyslexia. *Brain & Development*, *22*(7), 421–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11102726>

Skottun, B. C. (2000). The magnocellular deficit theory of dyslexia: the evidence from contrast sensitivity. *Vision Research*, *40*(1), 111–127. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(99\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(99)00170-4)

Slaghuis, W. L., & Ryan, J. F. (1999). Spatio-temporal contrast sensitivity, coherent motion, and visible persistence in developmental dyslexia. *Vision Research*, *39*(3), 651–68. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10341992>

Slattery, T. J., & Rayner, K. (2013). Effects of intraword and interword spacing on eye movements during reading: Exploring the optimal use of space in a line of text. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *75*(6), 1275–1292. <https://doi.org/10.3758/s13414-013-0463-8>

Snowling, M. J., Gallagher, A., & Frith, U. (2003). Family risk of dyslexia is continuous: individual differences in the precursors of reading skill. *Child Development*, *74*(2), 358–73. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12705560>

Snowling, M., Stackhouse, J., & Rack, J. (1986). Phonological dyslexia and dysgraphia—a developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology*, *3*(3), 309–339. <https://doi.org/10.1080/02643298608253362>

Spencer, K. (2010). Predicting children's word-reading accuracy for common English words: The effect of word transparency and complexity. *British Journal of Psychology*, *101*(3), 519–543. <https://doi.org/10.1348/000712609X470752>

Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A., & Zoccolotti, P. (2002). Crowding Effects on Word Identification in Developmental Dyslexia. *Cortex*, 38(2), 179–200. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70649-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70649-X)

Spragins, A. B., Lefton, L. A., & Fisher, D. F. (1976). Eye movements while reading and searching spatially transformed text : a developmental examination. *Memory and Cognition*, 4, 36–42.

Spragins (A. B.), L. (L. A. . et F. (D. F. . (1976). Eye movements while reading and searching spatially transformed text : a developmental examination. *Memory and Cognition*, 4, 36–42.

Starr, M. S., & Rayner, K. (2001). Eye movements during reading: Some current controversies. *Trends in Cognitive Science*, 5(4), 156–163.

Staub, A., & Rayner, K. (1988). Eye movements and on-line language comprehension processes. In *Reading research: advances in theory and practice* (Vol 6, Vol. 13, p. 66). Academic Press. <https://doi.org/10.1080/01690968908406362>

Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12–36. <https://doi.org/10.1002/dys.186>

Stein, J. (2003). Visual motion sensitivity and reading. *Neuropsychologia*, 41(13), 1785–1793. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(03\)00179-9](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(03)00179-9)

Stein, J. F., Richardson, A. J., & Fowler, M. S. (2000). Monocular occlusion can improve binocular control and reading in dyslexics. *Brain : A Journal of Neurology*, 123 ( Pt 1), 164–70. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10611130>

Stein, J., & Talcott, J. (1999). Impaired neuronal timing in developmental dyslexia—the magnocellular hypothesis. *Dyslexia*, 5(2), 59–77. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0909\(199906\)5:2<59::AID-DYS134>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0909(199906)5:2<59::AID-DYS134>3.0.CO;2-F)

Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read; the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neurosciences*, 20(4), 147–52. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9106353>

Stifter, E., Sacu, S., Weghaupt, H., König, F., Richter-Müksch, S., Thaler, A., ... Radner, W. (2004). Reading performance depending on the type of cataract and its predictability on the visual outcome. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, 30(6), 1259–1267. <https://doi.org/10.1016/J.JCRS.2003.11.051>

Sucena, A., Castro, S. L., & Seymour, P. (2009). Developmental dyslexia in an orthography of intermediate depth: the case of European Portuguese. *Reading and Writing*, 22(7), 791–810. <https://doi.org/10.1007/s11145-008-9156-4>

Taylor (S. E.), F. (H. . et P. (J. L. . (1960). Grade level norms for the components of the fundamental reading skills. *EDL Information and Research Bulletin*, 3.

Tinker, M. A. (1946). The study of eye movements in reading. *Psychological Bulletin*, 43(2), 93–120. <https://doi.org/10.1037/h0063378>

Tinker, M. A. (1958). Recent studies of eye movements in reading. *Psychological Bulletin*, 55(4), 215–31. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13567965>

Trauzettel-Klosinski, S., Koitzsch, A. M., Dürrwächter, U., Sokolov, A. N., Reinhard, J., & Klosinski, G. (2010). Eye movements in German-speaking children with and without dyslexia when reading aloud. *Acta Ophthalmologica*, 88(6), 681–691. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.2009.01523.x>

Tsoka, P., Plainis, S., Giannakopoulou, T., Tsapaki, V., Nikolitsa, P., Moschandrea, J., & Tsilimbaris, M. K. (2008). Validation of a modified ETDRS chart for European-wide use in a population using the Cyrillic alphabet. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 49, ARVO E-Abstract 3143.

Underwood, G., Clews, S., & Everatt, J. (1990). How do readers know where to look next? Local information distributions influence eye fixations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 42(1), 39–65. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2326490>

Universale, C. O., & Committee, V. F. (1984). Visual Acuity Measurement. *International Journal of Ophthalmology*, 1–18.

Valdois, S., Bosse, M.-L., Ans, B., Carbonnel, S., Zorman, M., David, D., & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing*, 16, 541–572. Retrieved from <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00826014>

Valdois, S., Bosse, M.-L., & Tainturier, M.-J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia*, 10(4), 339–363. <https://doi.org/10.1002/dys.284>

Valdois, S., Gérard, C., Vanault, P., & Dugas, M. (1995). Peripheral developmental dyslexia: a visual attentional account? *Cognitive Neuropsychology*, 12(1), 31–67. <https://doi.org/10.1080/02643299508251991>

Virgili, G., Cordaro, C., Bigoni, A., Crovato, S., Cecchini, P., & Menchini, U. (2004). Reading acuity in children: Evaluation and reliability using MNREAD charts. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 45(9), 3349–3354. <https://doi.org/10.1167/iovs.03-1304>

Vitu, F., McConkie, G. W., Kerr, P., & O'Regan, J. K. (2001). Fixation location effects on fixation durations during reading: an inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, 41(25–26), 3513–33. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11718792>

Vitu, F., O'Regan, J. K., Inhoff, a W., & Topolski, R. (1995). Mindless reading: eye-movement characteristics are similar in scanning letter strings and reading texts. *Perception & Psychophysics*, 57(3), 352–364. <https://doi.org/10.3758/BF03213060>

Vitu, F., O'Regan, K., & Miitau, M. (1990). Optimal landing position in reading isolated words and continuous text. *Perception & Psychophysics*, 47(6), 583–600. <https://doi.org/10.3758/BF03203111>

World Health Organization. (2001). *The International Classification of Functioning, Disability and Health*. Geneva. Retrieved from [http://psychiatr.ru/download/1313?view=name=CF\\_18.pdf](http://psychiatr.ru/download/1313?view=name=CF_18.pdf)

Yang, S., & Shun-Nan. (2006). An oculomotor-based model of eye movements in reading: The competition/interaction model. *Cognitive Systems Research*, 7(1), 56–69. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2005.07.005>

Yehezkel, O., Sterkin, A., Lev, M., & Polat, U. (2015). Crowding is proportional to visual acuity in young and aging eyes. *Journal of Vision*, 15(8), 23. <https://doi.org/10.1167/15.8.23>

Yu, D., Legge, G. E., Wagoner, G., & Chung, S. T. L. (2014). Sensory factors limiting horizontal and vertical visual span for letter recognition. *Journal of Vision*, 14(6), 3. <https://doi.org/10.1167/14.6.3>

Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., ... Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28), 11455–11459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109>

Zorzi, M., Houghton, G., & Butterworth, B. (1998). Two routes or one in reading aloud? A connectionist dual-process model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(4), 1131–1161. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.24.4.1131>

Zoubinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes: heterogeneity of mixed reading profiles. *PloS One*, 9(6), e99337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>