



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO ACADÊMICO EM FÍSICA

LAÍSA VIANA QUARIGUASI

PERCEPÇÃO VISUAL E PROCESSOS COGNITIVOS: UM ESTUDO DA
DISTRIBUIÇÃO DOS TEMPOS DE FIXAÇÃO

FORTALEZA

2023

LAÍSA VIANA QUARIGUASI

PERCEPÇÃO VISUAL E PROCESSOS COGNITIVOS: UM ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO
DOS TEMPOS DE FIXAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Física do Programa de Pós-Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Física. Área de Concentração: Física da Matéria Condensada.

Orientador: Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Q25p

Quariguasi, Laísa Viana.

Percepção Visual e Processos Cognitivos: um estudo da distribuição dos tempos de fixação / Laísa Viana Quariguasi. – 2023.

60 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Física, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis.

1. Movimentos oculares. 2. Microssacada. 3. Cognição. 4. Tarefa visual. I. Título.

CDD 530

LAÍSA VIANA QUARIGUASI

PERCEPÇÃO VISUAL E PROCESSOS COGNITIVOS: UM ESTUDO DA DISTRIBUIÇÃO
DOS TEMPOS DE FIXAÇÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Física do Programa de Pós-Graduação em Física do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Física. Área de Concentração: Física da Matéria Condensada.

Aprovada em: 17/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Saulo Davi Soares e Reis (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. César Ivan Nunes Sampaio Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Erneson Alves de Oliveira
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

Dedico este trabalho à minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao longo da jornada do mestrado recebi muita ajuda, sem a qual não teria sido possível concluir meu trabalho. Agradeço primeiro a Deus, por me dar força ao longo do caminho. Agradeço meus pais e minha irmã por me incentivarem e nunca duvidarem que eu conseguiria. Sou muito grata a todos meus amigos, tanto os do departamento quanto os de fora, que de alguma forma contribuíram para que eu não desistisse. Um agradecimento especial para o pessoal do Laboratório de Sistemas Complexos, que foram até cobaia para os testes dos experimentos e sempre tentavam me ajudar a resolver os problemas dos meus códigos, com quem eu compartilhei muito café, nenhum grupo de física poderia ser melhor. Agradeço também aos funcionários do departamento, por serem sempre gentis e prestativos. À Débora, sem a qual eu não conseguiria fazer esse projeto, sempre disponível quando precisei e sempre me apoiando mais do que eu esperava. Ao meu orientador, por sua enorme paciência comigo, por compartilhar um pouco do que sabe e me incentivar. À Instituição CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

"I don't know what the future holds, but I do know that I'm going to be positive and not wake up feeling desperate." (GILMORE, 2001.)

RESUMO

A forma como nosso cérebro interage com o mundo externo é intrincada e fonte de muita investigação. Dado que a visão é o sentido mais fundamental para essa interação, entender os mecanismos dos movimentos oculares pode trazer muita luz na compreensão dos processos cognitivos. O processo visual consiste em uma sequência de movimentos rápidos de grande amplitude (sacadas) entre os quais o olhar foca para capturar informação (fixações), sendo a fixação uma combinação de outros três movimentos: tremor, *drift* e microssacada. Ao realizar diferentes tarefas, os padrões desses movimentos modificam seu comportamento, evidenciando que há uma relação entre o movimento ocular e o processo cognitivo subjacente. No entanto, a forma da distribuição das durações das fixações é aparentemente semelhante em diferentes cenários. Existem duas teorias de controle do movimento ocular que propõem que a posição e o tempo das fixações são determinados por um processo cognitivo (controle direto) ou por outros fatores (controle indireto). Um experimento recente mostra que, para a observação de um ponto fixo, as durações das fixações apresentam um comportamento dual, aparentemente dependente de fatores cognitivos e fisiológicos. Neste trabalho exploramos a distribuição das durações das fixações a partir da análise dos micromovimentos que as compõem. Para fazer isso, realizamos experimentos de rastreamento ocular usando um equipamento de alta precisão e registramos as fixações com precisão de microssacada enquanto os participantes executam diferentes tarefas visuais. Com os dados obtidos, analisamos as distribuições dos intervalos entre as microssacadas, que interpretamos como micro fixações. Assim, buscamos funções que pudessem ser candidatas para a construção de um modelo robusto que explicasse o comportamento encontrado nas distribuições dos tempos de fixação, partindo das distribuições das micro fixações. Analisamos essas funções e discutimos suas limitações e com elas propomos novas estratégias para continuar com a pesquisa.

Palavras-chave: movimentos oculares; microssacada; cognição; tarefa visual.

ABSTRACT

The way our brain interacts with the external world is intricate and the source of much investigation. Given that vision is the most fundamental sense for this interaction, understanding eye movements can shed a lot of light on understanding cognitive processes. The visual process consists of a sequence of rapid movements of great amplitude (saccadas) between which the gaze focuses to capture information (fixations), with fixation being a combination of three other movements: tremor, drift and microsaccade. When performing different tasks, the patterns of these movements modify their behavior, showing that there is a relationship between eye movement and the underlying cognitive process. However, the shape of the distribution of fixation durations is apparently similar in different scenarios. Two theories of eye movement control propose that the position and timing of fixations are determined either by a cognitive process (direct control) or by other factors (indirect control). A recent experiment shows that, during the observation of a fixed point, fixation durations exhibit a dual behavior, seemingly dependent on both cognitive and physiological factors. In this study, we explore the distribution of fixation durations by analyzing the micro movements that comprise them. To achieve this, we conducted eye-tracking experiments using high-precision equipment and recorded fixations with microsaccade accuracy while participants performed different visual tasks. Based on the obtained data, we analyzed the distributions of intervals between microsaccades, which we interpret as micro fixations. Thus, we sought functions that could serve as candidates for constructing a robust model to explain the observed behavior in fixation time distributions based on micro fixations distributions. We analyze these functions, discuss their limitations, and propose new strategies to further advance the research.

Keywords: eye movements; microsaccade; cognition; visual task.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Trajetória do olhar durante um experimento de leitura. Registro feito por Huey dos movimentos oculares de uma pessoa lendo, evidenciando os movimentos de sacada e fixação. 18
- Figura 2 – Comportamento cíclico durante a visualização de rostos. a) Registro da visualização da foto do rosto de uma garota durante um minuto. b) Registro da visualização da imagem *Girl from the Volga* durante três minutos. 19
- Figura 3 – Trajetórias do olhar de uma pessoa ao visualizar a pintura *They did no expect him* (superior esquerdo). a) Visualização livre. Depois foram dadas as seguintes tarefas: b) estime a condição financeira da família na pintura; c) diga a idade das pessoas; d) suponha o que a família estava fazendo antes da chegada do visitante inesperado; e) lembre as roupas que cada pessoa vestia; f) lembre a posição das pessoas e dos objetos na sala; g) estime quanto tempo o visitante inesperado esteve longe da família. 21
- Figura 4 – Distribuição dos tempos de fixação. a) Estudantes resolvendo caça-palavras (GALLEY *et al.*, 2015). b) Visualização de imagens por pessoas saudáveis e pacientes esquizofrênicos (EGAÑA *et al.*, 2013). c) Crianças de 6, 12, 18 e 24 meses assistindo a Vila Sésamo (RICHARDS; CRONISE, 2000). d) Visualização de imagens por macacos e saguis (MITCHELL *et al.*, 2014). 23
- Figura 5 – Relação entre a duração das fixações críticas e a duração do *delay* da imagem. 24
- Figura 6 – Movimentos de fixação. Microssacadas são movimentos que causam uma grande variação na posição, tanto vertical como horizontal, entre microssacadas acontecem os movimentos de *drift*, durante o qual ocorre o tremor. 25
- Figura 7 – Configuração do equipamento durante o experimento. A tela e a câmera foram posicionadas de modo que as distâncias A e B são, respectivamente, aproximadamente 83 cm e 54 cm. 28
- Figura 8 – Processos de checagem de precisão. a) Após a calibração de nove pontos, são mostrados na tela os pontos juntamente com a posição do olhar detectado e o erro entre eles, caso o erro médio seja maior que 0,5° e o erro máximo seja 1° o processo de calibração é repetido. b) No *drift correction* é utilizado apenas um ponto, se o olhar do participante estiver afastado do ponto é realizada uma calibração, para melhorar precisão da posição. 29

Figura 9 – Exemplo de imagens apresentadas no experimento 1. A imagem à esquerda é uma das imagens de ponto, nela o ponto é vermelho, mas também aparecem pontos nas cores amarelo, verde e azul, sempre com tamanho de $0,12^\circ$. A imagem à direita é uma das imagens de visualização livre, esse conjunto de imagens é bastante diversificado quanto ao conteúdo e possui como único intuito o relaxamento visual do participante.	30
Figura 10 – Exemplo de imagem da nuvem de números. Imagem da parte dois do experimento 2, no qual é realizado uma tarefa de busca visual, onde o participante deve encontrar o número 5.	31
Figura 11 – Detecção de microscacadas. Em a) e b) estão representadas as velocidades de cada olho, onde as elipses tracejadas representam os limites de velocidade e as linhas mais escuras as microscacadas detectadas. Os números mostram o par de microscacada equivalente em cada olho e o símbolo '*' é um ruído que inicialmente foi detectado como microscacada. O gráfico em c) mostra as curvas da fração de microscacadas detectadas para os dados originais (em azul) e para os dados de <i>surrogate</i> (em vermelho) para valores de λ entre 3 e 15, e a diferença entre elas (em preto). O pico da diferença se dá mais próximo de $\lambda = 6$, utilizado na construção dos limites em a) e b).	34
Figura 12 – Exemplo de estímulos dos experimentos. a) Experimento de leitura, passagem do livro Jubiabá de Jorge Amado. b) Experimento para encontrar quatro diferenças. c) Experimento de busca do Wally. d) Experimento de busca 5-2.	35
Figura 13 – Imagens apresentadas nos experimentos de visualização livre e o número de fixações.	36
Figura 14 – Distribuição das durações de fixação. Distribuições de probabilidade (acima) e distribuições acumuladas (abaixo) dos tempos de fixação. Os gráficos da esquerda são referentes aos experimentos externos, separados em busca visual, leitura e visualização livre. Os dados de busca visual são referentes aos experimentos 5-2, ClickDiff, TrialDiff, Wally e nuvem de números, e os de visualização livre FV e MIT, todos descritos na seção 3.5. Os gráficos da direita são referentes aos nossos experimentos realizados.	41

Figura 15 – Teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrual. Para D (esquerda), valores que tendem a 0 indicam amostras com distribuição semelhante. Para p -value (direita), se seu valor for maior igual a 0.01 indicam semelhanças estatísticas.	42
Figura 16 – Distribuição dos intervalos intermicrosacádicos. O gráfico a direita evidencia uma distribuição exponencial ao se tornar uma reta na escala logarítmica.	44
Figura 17 – Escolha do parâmetro lambda. As curvas em preto e azul representam as frações de microsacada por segundo detectadas nos dois conjuntos de dados, original e modificado. A curva em vermelho representa a diferença entre elas, onde a linha em vermelho indica o ponto máximo da curva. Os valores escolhidos para λ foram os inteiros mais próximos do pico, 3 para os dados de ponto fixo e 4 para os dados de busca visual.	45
Figura 18 – Detecção de microsacadas. Nos gráficos de cima é mostrado em azul a posição em grau do olhar de cada olho, com as microsacadas destacadas em vermelho. Nos gráficos de baixo é mostrada a velocidade, com a elipse representando os limites calculados e os trechos fora desses limites que são microsacadas em vermelho.	46
Figura 19 – Distribuição das durações de micro fixação durante visualização de ponto fixo. a) Micro fixações de fixações com duas ou mais microsacadas. b) Micro fixações de fixações com uma microsacadas. c) Fixações sem microsacadas. d) Durações de todas as micro fixações.	47
Figura 20 – Regressão linear da distribuição total da duração das micro fixações. Os pontos representam as alturas das colunas do histograma d) da Figura 19 na base logarítmica 10, e a reta em vermelho é a regressão linear que melhor se ajusta aos dados.	48
Figura 21 – Distribuição das durações de micro fixação durante busca visual. a) Fixações sem microsacadas.. b) Micro fixações de fixações com uma microsacada. c) Micro fixações de fixações com duas ou mais microsacadas d) Durações de todas as micro fixações.	49
Figura 22 – Distribuição beta ajustada às distribuições das durações de todas as micro fixações. As colunas abaixo representam os dados do experimento de busca visual (esquerda) e ponto fixo (direito), e a curva em preto a distribuição beta parametrizada de forma a possibilitar o melhor ajuste.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov uni amostras.	38
Tabela 2 – Valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov biamostras.	39
Tabela 3 – Resumo dos dados dos experimentos.	46
Tabela 4 – Critérios estatísticos do teste de ajuste dos dados de busca visual.	50
Tabela 5 – Critérios estatísticos do teste de ajuste dos dados de visualização de ponto fixo.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	RASTREAMENTO OCULAR	17
2.1	Guy Buswell	18
2.2	Alfred Yarbus	19
2.3	Movimentos oculares e cognição	20
2.3.1	<i>Leitura</i>	21
2.3.2	<i>Busca visual</i>	22
2.3.3	<i>Perseguição visual</i>	22
2.3.4	<i>Tempos de fixação</i>	23
2.4	Movimentos de fixação	25
2.4.1	<i>Tremor</i>	25
2.4.2	<i>Drift</i>	26
2.4.3	<i>Microsacada</i>	26
2.4.3.1	<i>Drifts e microsacadas</i>	27
3	METODOLOGIA	28
3.1	Experimento 1	30
3.2	Experimento 2	31
3.3	Participantes	31
3.4	Limpeza de dados	32
3.4.1	<i>Deteção de microsacadas</i>	32
3.5	Dados externos	35
4	CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA TESTE DE HIPÓTESE	37
4.1	Teste de Kolmogorov-Smirnov	37
4.1.1	<i>Teste de Kolmogorov-Smirnov uni amostral</i>	37
4.1.2	<i>Teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrai</i>	38
4.2	Soma dos quadrados dos resíduos	39
4.3	Crítério de informação de Akaike	39
4.4	Crítério de informação Bayesiano	40
4.5	Divergência de Kullback-Leibler	40
5	RESULTADOS	41

5.1	Tempos de fixação	41
5.2	Detecção de microssacadas	45
5.3	Micro fixações	47
5.3.1	<i>Teste de hipóteses</i>	49
5.3.2	<i>Ajuste de modelos</i>	50
6	CONCLUSÃO	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICE A –CONVOLUÇÃO APLICADA EM COMBINAÇÃO DE	
	FUNÇÕES DISTRIBUIÇÃO	60

1 INTRODUÇÃO

Durante o dia fazemos diversas escolhas baseadas nos estímulos captados por nossos sentidos, sendo guiados principalmente pela visão. A visão como um sistema biológico é responsável por todo o processo desde a captação até a interpretação desses estímulos. Chegando à retina na forma de luz, esses são em seguida transformados em sinais neuronais para serem transportados ao cérebro por meio dos nervos ópticos. No córtex visual, localizado no lobo occipital, é onde por fim ocorre o processamento da informação visual com a construção das imagens. Para que isso seja possível os nossos olhos estão constantemente em movimento, ainda que não percebamos. Dentre os movimentos oculares há dois movimentos principais, a sacada e a fixação. Com características contrastantes, a sacada possui comportamento balístico e de grande amplitude, e a fixação possui um foco mais local, com menores velocidades e amplitudes. Durante a fixação costumamos ter a falsa impressão de que nossos olhos estão parados, quando na verdade eles estão realizando três pequenos movimentos: tremor, *drift* e micro-sacada. Tais movimentos de fixação são inconscientes, mas fundamentais para preservar a visão (MARTINEZ-CONDE *et al.*, 2004).

O estudo dos movimentos dos olhos teve seu início no século IX a.C., com Aristóteles, mas foi a partir dos resultados publicados por Alfred Yarbus, em 1967, no seu livro *Eye Movements and Vision* que o interesse na área cresceu. Relacionando a cognição com os movimentos oculares, Yarbus mostrou que a partir da análise de padrões de visualização é possível investigar o comportamento humano. Desde então, além dos vários experimentos realizados, também foram desenvolvidas técnicas e equipamentos de rastreamento ocular com alta precisão e capacidade de processamento de dados. As características de não linearidade, auto organização e emergência desses dados nos permite estudá-lo como um sistema complexo, utilizando modelos físicos para descrevê-los. Sua aplicabilidade se dá nas mais diversas áreas, como por exemplo na Linguística, estudando a compreensão da linguagem durante a leitura (KLIEGL *et al.*, 2004; CLIFTON *et al.*, 2016) e atenção dinâmica (BURLESON-LESSER *et al.*, 2017), e na Medicina diagnóstica, para estudar a atenção visual de especialistas durante a análise de exames médicos (GIJP *et al.*, 2017; HAREZLAK; KASPROWSKI, 2018; WU; WOLFE, 2019; FERREIRA *et al.*, 2019).

Em geral, esses estudos se concentram na análise da posição das fixações e suas mudanças, com o objetivo de entender como direcionamos a atenção para diferentes tipos de estímulos visuais. Por outro lado, os tempos de fixação raramente são analisados e ainda não há

na literatura uma descrição bem fundamentada de como esses tempos se distribuem. Estudar as características das fixações é de grande interesse, uma vez que é durante esses instantes que a informação visual é captada e, portanto, elas podem estar relacionadas ao processo cognitivo subjacente. Dessa forma, para uma descrição mais completa do processamento da informação visual, é necessário estudar as duas variáveis fundamentais associadas às fixações, ou seja, a sua posição e duração temporal.

Embora se observe que os padrões de movimento ocular apresentam diferenças dependendo da tarefa visual realizada, a forma da distribuição da duração da fixação parece ter um comportamento semelhante em diferentes cenários. Atualmente existem duas teorias de controle do movimento ocular, uma das quais propõe que a posição e o tempo das fixações são determinados por processos cognitivos, e outra que afirma que essas variáveis são regidas por outros fatores involuntários. Um experimento realizado por Henderson (HENDERSON; PIERCE, 2008) mostra que, ao interromper uma imagem de forma controlada enquanto ela está sendo observada, registram-se fixações que não apresentam alterações em sua duração, e outras que apresentam. Esse resultado mostra que a duração das fixações pode estar relacionada a mecanismos fisiológicos e cognitivos. Isso nos motiva a buscar novas abordagens para estudar a geração e a duração das fixações e avançar para um modelo que represente as durações das fixações e seja consistente com os processos cognitivos associados a diferentes tarefas visuais.

Neste trabalho focamos em estudar o comportamento da distribuição dos tempos de fixação em diferentes cenários. Para isso, realizamos dois experimentos de rastreamento ocular com um equipamento de alta precisão. Nesses experimentos foram apresentados estímulos visuais associados a tarefas cognitivas de diferentes graus de complexidade. Durante os experimentos, registramos os movimentos oculares com precisão suficiente para detectar microscadadas. Efetuamos uma exaustiva limpeza e análise de dados que nos permite estudar as fixações ao nível dos micromovimentos que as compõem, e assim analisar com maior detalhe como se distribuem os tempos destas fixações para diferentes tarefas visuais.

No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica acerca do estudo dos movimentos oculares, descrevendo como se deu o início das investigações, instigados pelo interesse de compreender algo tão vital como a visão. Apresentamos os pesquisadores que mais se destacaram e contribuíram para impulsionar o interesse na área, descrevendo seus experimentos juntamente com seus principais resultados. Em seguida mencionamos alguns aspectos de experimentos de leitura, busca visual e perseguição visual, com relação tanto à cognição quanto aos movimentos

oculares em si. Expomos o comportamento particular seguido pela distribuição dos tempos de fixação, e seu modelo de controle evidenciado pelo experimento de Henderson. Por fim, são apresentadas as propriedades que caracterizam cada movimento e as discussões sobre suas funções e interações, as quais seguem sem um consenso.

No capítulo 3 especificamos o equipamento de rastreamento ocular utilizado, assim como as configurações do software aplicadas para garantir a qualidade necessária dos dados. Apresentamos o design dos dois experimentos, mencionando os critérios de inclusão para a participação e os procedimentos de limpeza e filtragem aplicados nos dados. Logo após descrevemos o método de detecção de microssacadas adotado, que foi desenvolvido por Engbert e Kliegl e utiliza a velocidade como parâmetro de limite. Por último falamos sobre os conjuntos de dados provenientes de outros experimentos, dos quais foram retirados apenas as durações de fixação.

No capítulo 4 mencionamos alguns critérios estatísticos que podem ser utilizados como parâmetro de escolha do melhor modelo durante os testes de hipótese. Todos eles foram aplicados nos nossos conjuntos de dados, sendo os resultados apresentados no capítulo 5.

No capítulo 5 mostramos os resultados obtidos em nossa pesquisa. Primeiramente, apresentamos as curvas de distribuição de durações de fixação para dados retirados da literatura e analisamos seu comportamento. Em seguida, descrevemos o processo de detecção de microssacadas para os experimentos realizados, encontramos os intervalos entre as microssacadas e analisamos como eles são distribuídos. Por fim, a partir das distribuições encontradas, procuramos funções com características semelhantes que pudessem ser candidatas a um modelo do comportamento dos tempos de fixação.

No capítulo 6 apresentamos as conclusões deste trabalho, onde discutimos brevemente a nossa abordagem teórica e modelo experimental, bem como os resultados preliminares obtidos, e propomos os próximos objetivos de trabalho para dar continuidade a esta investigação.

2 RASTREAMENTO OCULAR

Os movimentos dos olhos vêm sendo objeto de estudo mesmo antes da criação de técnicas para rastreamento ocular. Inicialmente se costumava pensar que os movimentos realizados pelos olhos eram suaves e contínuos, mas um oftalmologista francês chamado Louis Émile Javal constatou o contrário. Sem a ajuda de nenhum aparelho, Javal observou em um experimento de leitura que os olhos se alternavam entre movimentos rápidos e paradas (TATLER; WADE, 2003). Em 1895, o químico Crum Brown, partindo também apenas de observações, descreveu os movimentos dos olhos da mesma forma que Javal. Além disso, acrescentou que os movimentos rápidos possuem tamanhos variados e que a duração das paradas é curta mas poderiam se tornar mais longas caso fosse realizado um esforço. Afirmou também que o que vemos é um panorama formado de várias imagens estáticas, uma vez que praticamente não se consegue ver durante os movimentos de salto (BROWN, 1895).

Os primeiros registros de posição do olhar utilizavam aparelhos que eram diretamente conectados aos olhos (WADE, 2010), tendo início em torno de 1898 com Delabarre e Edmund Huey. Igualmente com um experimento de leitura, Huey conseguiu demonstrar as observações feitas inicialmente por Javal acerca da descontinuidade do movimento dos olhos. Ao equipamento era acoplada uma caneta que se movia sobre uma superfície, gravando sobre ela a posição do olhar, formando padrões como o que é mostrado na Figura 1. Os dois movimentos que foram identificados ficaram conhecidos como sacada e fixação. O termo sacada foi utilizado primeiramente por Javal, que traduzido do francês significa movimento brusco. Já a fixação foi chamado assim por Huey já que o olhar se mantinha naquele ponto por um certo período de tempo (HUEY, 1898; HUEY, 1900; HUEY, 1908).

Com o início do século XX, outros aparelhos e métodos para rastreamento ocular foram sendo desenvolvidos utilizando técnicas não intrusivas, como o reflexo da luz no olho. Isso acabou levando a uma expansão na pesquisa dos movimentos oculares, abrangendo outros tipos de experimentos além da leitura. Os novos aparelhos, por não estarem em contato direto com o olho, proporcionavam um conforto maior aos indivíduos que participavam dos experimentos e geravam dados mais precisos, uma vez que não haviam forças sendo aplicadas aos olhos e nem a necessidade de se usar anestesia. Com isso, permitiu um maior conhecimento dos movimentos oculares e de suas características principais, possibilitando o surgimento do foco de investigações que buscava compreender o funcionamento por trás das trajetórias do olhar.

Logo, as investigações deixaram de ser unicamente sobre os movimentos em si e

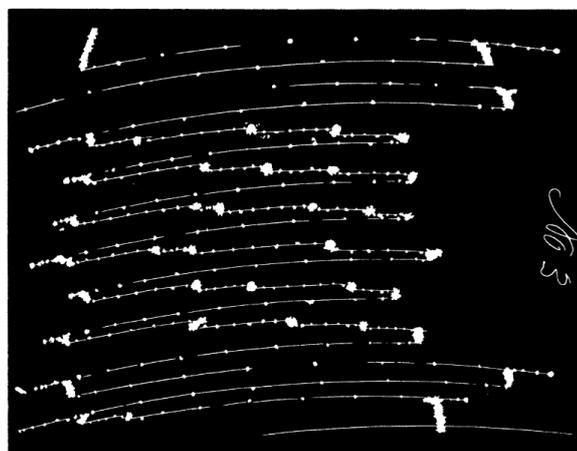
passaram a incluir questionamentos acerca de como as posições onde ocorriam as fixações eram escolhidas.

2.1 Guy Buswell

Com o propósito de entender melhor os mecanismos dos movimentos, o psicólogo americano Guy Buswell (LANGFORD, 1936) realizou um experimento que consistia na observação de algumas pinturas. Dos dados que obteve, ele analisou e comparou as fixações de diferentes participantes, como elas se distribuíam sobre a imagem, quanto tempo duravam e se havia mudança em seus padrões quando instruções eram dadas aos participantes antes do início do experimento, como por exemplo para procurar algo específico na imagem. Um dos aspectos que ele percebeu foi que nem todos os elementos presentes na pintura era fixados e que existiam certas regiões que possuíam uma maior concentração de fixações. No entanto, apesar de esses “centros de interesse” emergirem de um comportamento global, os padrões de visualização individual eram muito distintos. Além disso, foi observado nas trajetória do olhar a influencia das instruções dadas previamente, quando comparadas com a visualização livre.

Posteriormente, Buswell realizou um segundo experimento buscando entender mais a fundo os resultados obtido anteriormente. Dessa vez utilizou dois grupos de participantes, indivíduos treinados e não treinados em arte. Esperava encontrar discrepâncias entre os grupos e semelhanças entre indivíduos do mesmo grupo, mas o resultado mostrou que essa diferença entre os grupos não era significativa. Isso levou alguns pesquisadores a assumir que as trajetórias do olhar não podiam ser explicadas apenas pela imagem que estava sendo mostrada, mas que

Figura 1 – Trajetória do olhar durante um experimento de leitura. Registro feito por Huey dos movimentos oculares de uma pessoa lendo, evidenciando os movimentos de sacada e fixação.



Fonte: (FORSTER, 2017).

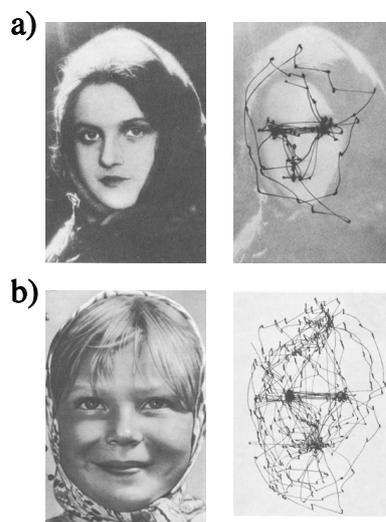
decorriam também de processos cognitivos inerentes. Ou seja, dependeriam de como o indivíduo percebe e processa a informação que está sendo recebida.

2.2 Alfred Yarbus

Um dos pesquisadores mais conhecidos na área de movimentos oculares é provavelmente o russo Alfred Yarbus (TATLER *et al.*, 2010), que ao longo das décadas de 1950 e 1960 desenvolveu aparelhos para rastreamento ocular e conduziu uma série de experimentos com a finalidade de estudar como as pessoas analisavam visualmente objetos e cenas complexas. Em seus primeiros experimentos era apresentada a mesma imagem para diferentes pessoas, nos quais se obteve padrões similares mas diferentes. Depois, uma mesma imagem era visualizada pela mesma pessoa várias vezes, com intervalos de um a dois dias, no qual se notou que os padrões também não eram idênticos porém possuíam mais semelhanças do que o anterior. Em seguida, ele investigou como a visualização mudava quando realizada por longos períodos, em seções de três minutos, notando que inicialmente as fixações se estavam posicionadas sobre os rostos dos personagens e que havia um comportamento cíclico, onde os olhos paravam e reexaminavam os elementos principais da imagem. Tal comportamento cíclico também pôde ser observado quando a imagem consistia em apenas um rosto, se concentrando nos olhos, nariz e boca.

Essas descobertas foram importantes para o estudo do comportamento dos movimentos oculares, mas foi o experimento de visualização da pintura *They did no expect him*,

Figura 2 – Comportamento cíclico durante a visualização de rostos. a) Registro da visualização da foto do rosto de uma garota durante um minuto. b) Registro da visualização da imagem *Girl from the Volga* durante três minutos.



Fonte: (TATLER *et al.*, 2010).

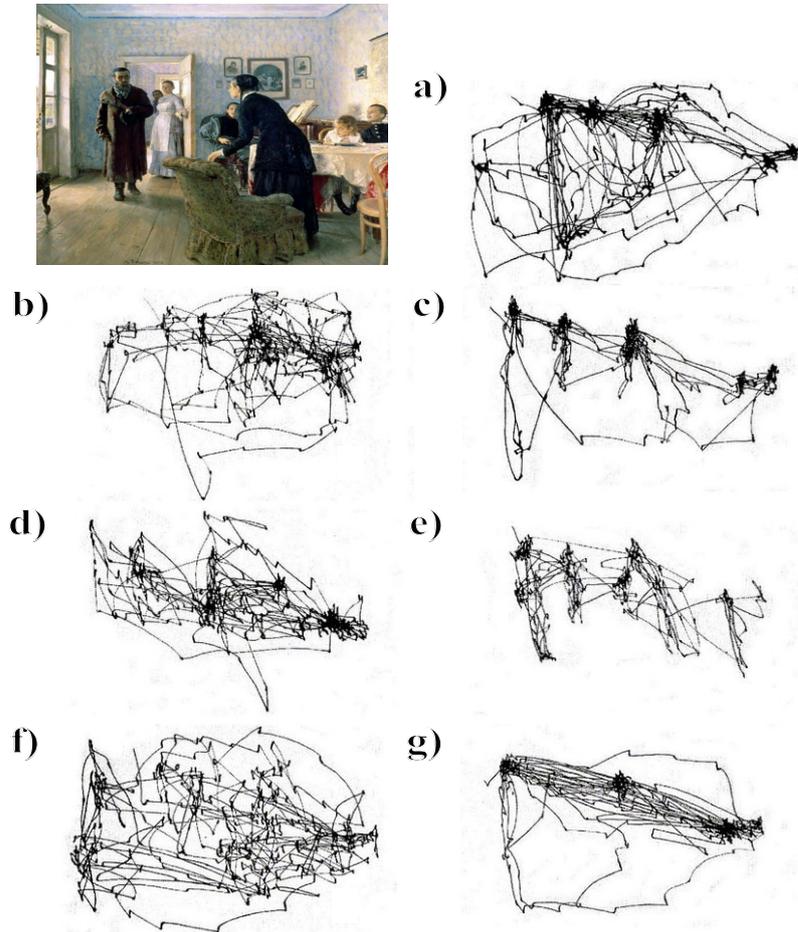
apresentado em 1967, que mais contribuiu para o estudo da relação entre visão e cognição. Como havia sido observado por Buswell, durante a visualização de imagens existiam áreas com mais fixações, chamadas centros de interesse, e áreas onde haviam pouca ou nenhuma fixação, o que Yarbus buscou esclarecer. No seu experimento, a imagem é visualizada sete vezes pelo mesmo indivíduo, sendo dada a ele uma tarefa diferente antes de cada visualização, de modo que os registros ajudam a se ter um entendimento melhor de como o processo cognitivo está influenciando o comportamento da pessoa e sua percepção visual. Na Figura 3 é possível observar como as áreas de fixação mudam radicalmente dependendo da tarefa cognitiva, mostrando uma clara relação entre elas. Essa é considerada sua maior contribuição na área, gerando um grande impacto e um crescimento no campo da pesquisa visual, em especial na área que investiga como a cognição e os movimentos dos olhos estão associados.

2.3 Movimentos oculares e cognição

A cognição visual é um processo complexo que vincula diferentes aspectos da percepção do indivíduo, como a atenção, a identificação de características, o reconhecimento, a memória, entre outros (CREDIDIO *et al.*, 2012; TREISMAN, 1998). Os trabalhos até então desenvolvidos mostraram como as trajetórias visuais sempre são compostas por uma sucessão de sacadas e fixações, mas que essas apresentam comportamentos diferentes dependendo do tipo de tarefa que o indivíduo realizava, variando características como o tempo de duração ou a sua distribuição espacial. De forma geral, as sacadas podem ser identificadas por seu comportamento balístico e de curta duração, além de serem eventos binoculares e conjugados. Isso significa que não só ocorrem nos dois olhos, como também seus movimentos seguem na mesma direção. As fixações por sua vez possuem pequenas amplitudes, menores velocidades e maiores durações.

Apesar do processo de cognição não poder ser observado diretamente, os movimentos dos olhos podem ajudar a compreendê-lo, sendo sensível ao tipo de estímulo que lhe é dado. Com o desenvolvimento de técnicas e aparelhos de rastreamento ocular mais precisos os movimentos oculares passaram a ser estudados não mais de um modo geral, mas em relação à uma determinada tarefa.

Figura 3 – Trajetórias do olhar de uma pessoa ao visualizar a pintura *They did no expect him* (superior esquerdo). a) Visualização livre. Depois foram dadas as seguintes tarefas: b) estime a condição financeira da família na pintura; c) diga a idade das pessoas; d) suponha o que a família estava fazendo antes da chegada do visitante inesperado; e) lembre as roupas que cada pessoa vestia; f) lembre a posição das pessoas e dos objetos na sala; g) estime quanto tempo o visitante inesperado esteve longe da família.



Fonte: (TATLER *et al.*, 2010).

2.3.1 Leitura

Os experimentos de leituras foram os primeiros a serem realizados, desde o início do estudo dos movimentos oculares, e muita pesquisa foi feita desde então para entender como a informação é processada durante a leitura (RAYNER, 1998; TAGLIANI; REDOLFI, 2023). Pesquisas mostraram que há dois tipos de processamentos, o da linguagem e o visual, no qual o primeiro controla quando os olhos se movem e o segundo controla para onde os olhos se movem (REICHLE *et al.*, 1998). Dito isso, as principais informações em experimentos de leitura são as posições e durações das fixações e sacadas, as quais dependem do texto. Variar o tipo de texto influencia nos resultados de experimentos de leitura, uma vez que, para o processamento

da informação, as características fundamentais das palavras são a frequência em que ocorre na língua, o tamanho e a previsibilidade (RAYNER; DUFFY, 1986; JUHASZ *et al.*, 2008; EHRLICH; RAYNER, 1981; TORRES *et al.*, 2021).

2.3.2 Busca visual

As tarefas de busca visual são extremamente complexas para a análise de processos cognitivos subjacentes, sendo até hoje desconhecidos seus mecanismos. Apesar disso, algumas características foram identificadas no que se refere à atenção e memória. Um estudo de 1980 (TREISMAN; GELADE, 1980) mostrou que o tempo da busca por objetos depende do tamanho do conjunto de características desse objeto que o difere e não do número de distratores presentes, ficando conhecida como Teoria de Integração de Informação. Outros estudos também propuseram a informação era coletada simultaneamente para todos os elementos visitados (HOROWITZ; WOLFE, 1998), e até que se tratava de um processo que não envolvia memória (PETERSON *et al.*, 2001). No que se refere à estratégias de busca, análises mostraram que à medida que a complexidade da tarefa de busca aumenta, vai ocorrendo uma transição na estratégia utilizada, passando de buscas direcionais sistemáticas para movimentos aleatórios (CREDIDIO *et al.*, 2012), assim como também foi mostrado uma tendência a adotar mecanismos de busca semelhantes à leitura, uma vez que esses padrões se correlacionam com sacadas mais rápidas, levando a uma exploração espacial mais rápida (AMOR *et al.*, 2016).

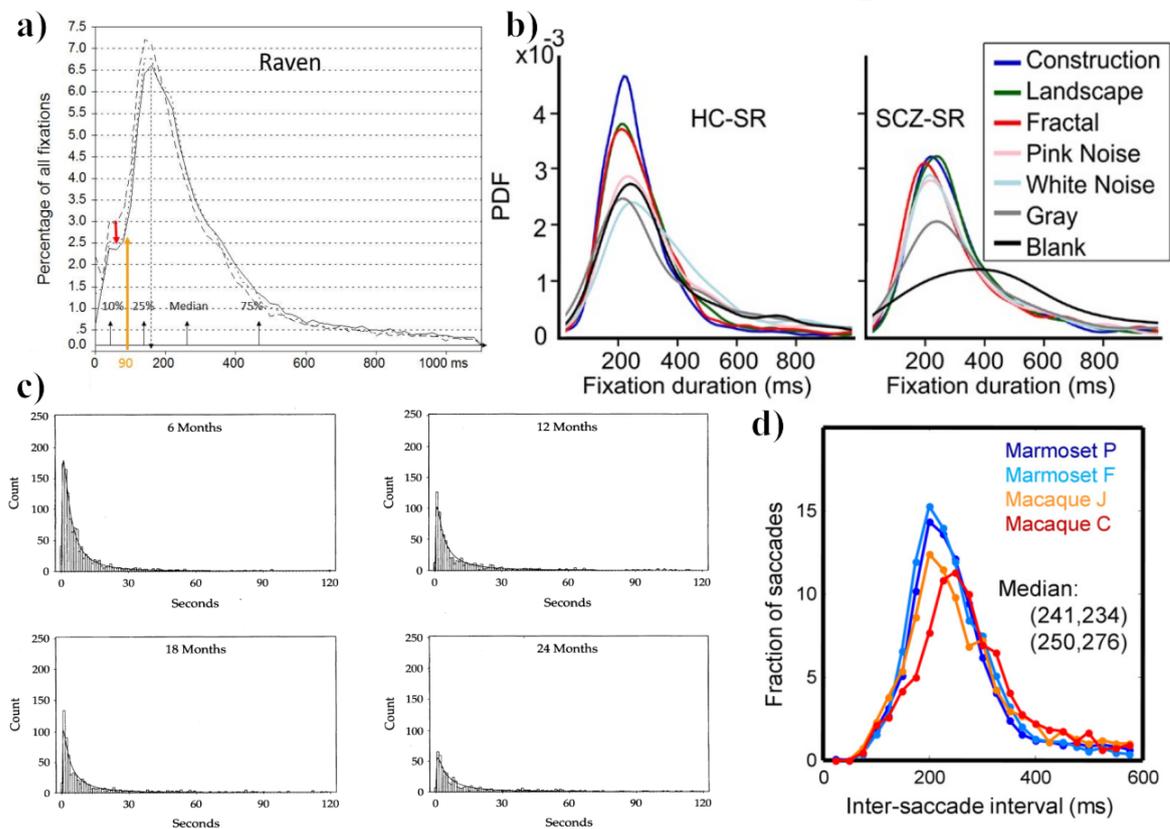
2.3.3 Perseguição visual

Outra tarefa empregada no estudo da cognição por trás dos movimentos oculares é a tarefa de perseguição visual (POLA; WYATT, 1997; MAKIN *et al.*, 2009), onde um alvo é apresentado ao indivíduo e deve ser seguido por ele durante o experimento, desaparecendo e depois reaparecendo em outro lugar. Esses estudos buscam entender como se maneja principalmente a atenção e o comportamento preditivo da perseguição, uma vez que quando o alvo desaparece o indivíduo continua o movimentando os olhos por onde acredita que o alvo está indo, impulsionado pela expectativa de que o mesmo reapareça (BARNES; COLLINS, 2008). Assim, sabe-se que perseguição visual depende não só de informações provenientes da retina, indícios dados pelo movimento visual, como também de além da retina, provenientes de influências reais ou hipotéticas (CARL; GELLMAN, 1987).

2.3.4 Tempos de fixação

Como foi dito nas seções anteriores, modificar o estímulo que é apresentado ao indivíduo ou modificar o tipo de interação entre eles provoca uma mudança nos padrões visuais, devido ao efeito de diferentes respostas cognitivas. Apesar disso, diversos trabalhos com diferentes tarefas visuais, diferentes faixas etárias dos participantes e até com outras espécies animais, mostram curvas de distribuição dos tempos de fixação com características muito semelhantes. Na Figura 4 são mostradas as distribuições dos tempos de fixação de quatro experimentos: resolução de caça palavras com diferentes níveis de dificuldade (GALLEY *et al.*, 2015), visualização de diferentes tipos de imagens estáticas por um grupo de controle saudável e por pacientes esquizofrênicos (EGAÑA *et al.*, 2013), visualização de vídeos da Vila Sésamo por crianças de 6 a 24 meses (RICHARDS; CRONISE, 2000), e visualização de imagens naturais por macacos e saguis (MITCHELL *et al.*, 2014). Cada um desses experimentos empregava diferentes respostas cognitivas, mas todas as distribuições apresentam comportamentos muito semelhantes.

Figura 4 – Distribuição dos tempos de fixação. a) Estudantes resolvendo caça-palavras (GALLEY *et al.*, 2015). b) Visualização de imagens por pessoas saudáveis e pacientes esquizofrênicos (EGAÑA *et al.*, 2013). c) Crianças de 6, 12, 18 e 24 meses assistindo a Vila Sésamo (RICHARDS; CRONISE, 2000). d) Visualização de imagens por macacos e saguis (MITCHELL *et al.*, 2014).



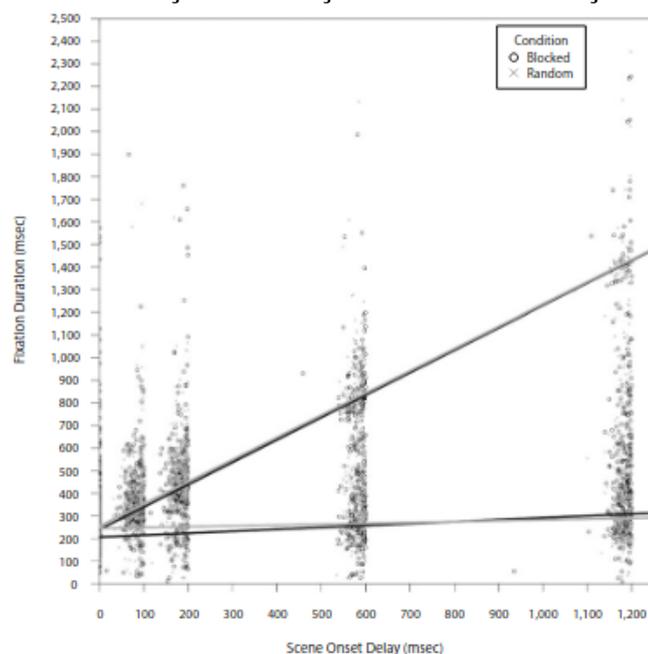
Fonte: (LIANG *et al.*, 2005).

É possível notar que sua moda está sempre na faixa de 200 a 300 ms e que a curva apresenta uma assimetria com cauda para a direita.

Baseado numa análise detalhada de diferentes aspectos dos movimentos oculares e dos processos cognitivos subjacentes, partindo de trabalhos anteriores, Rayner propõe em 1998 (RAYNER, 1998) uma teoria sobre o controle dos movimentos do olhos. De acordo com a mesma haveria duas classes de modelo de controle: o modelo de processamento, que seria um tipo de controle direto, relacionado a processos de compreensão e baseado nas propriedades dos estímulos apresentados; e o modelo oculomotor, que seria um controle indireto, visto que o controle seria mantido por fatores oculomotores e sem relação direta com o processamento da informação. De modo geral, haveriam dois tipos de controle, um cognitivo e outro fisiológico.

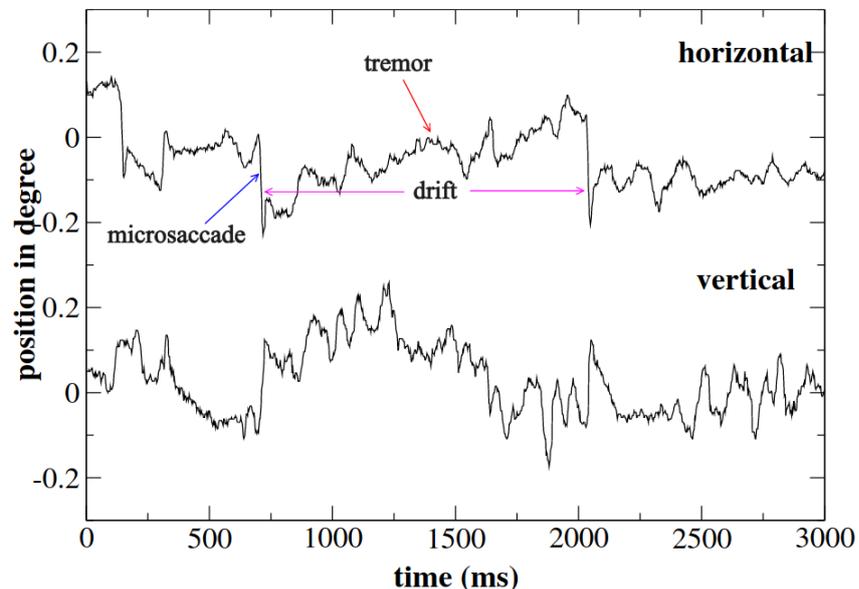
Buscando evidências desse controle bimodal proposto por Rayner, foi realizado um experimento em 2008 por Henderson (HENDERSON; PIERCE, 2008), utilizando o paradigma de *onset delay*. O experimento consistia na retirada da imagem a cada 10 fixações, de forma que a fixação seguinte, que ele chamou fixação crítica, se iniciava antes que a imagem voltasse a ser apresentada, variando o tempo de atraso da imagem. Ao fazer a distribuição das durações das fixações críticas, o que ele percebeu foi que haviam dois grupos de fixações, representadas pelas linhas na Figura 5, onde um grupo segue com sua duração constante e o outro cresce linearmente com o tempo de delay. Esses grupos podem ser interpretados como as fixações controladas pelo

Figura 5 – Relação entre a duração das fixações críticas e a duração do *delay* da imagem.



Fonte: (LIANG *et al.*, 2005).

Figura 6 – Movimentos de fixação. Microsacadas são movimentos que causam uma grande variação na posição, tanto vertical como horizontal, entre microsacadas acontecem os movimentos de *drift*, durante o qual ocorre o tremor.



Fonte: (LIANG *et al.*, 2005).

modelo de processamento e pelo modelo oculomotor, respectivamente, comprovando a teoria de Rayner.

2.4 Movimentos de fixação

Entretanto, estudar as fixações não é algo simples, uma vez que mesmo durante as fixações nossos olhos não ficam parados, apesar da falsa impressão que temos. Realizam pequenos movimentos, sendo os três principais o tremor, o *drift* e a microsacada, apresentados na Figura 6. Assim, uma vez que se sabe que a informação é processada durante as fixações, conhecer os mecanismos e funções desses movimentos se torna fundamental no estudo da cognição.

2.4.1 Tremor

O tremor é o menor dos movimentos de fixação e ocorre simultaneamente ao *drift* (MARTINEZ-CONDE *et al.*, 2004), possui um comportamento ondulatório e é aperiódico (RIGGS *et al.*, 1953), sendo sua frequência aproximada 90 Hz e a amplitude em torno do diâmetro de uma célula cone (CARPENTER, 1988). Estudos iniciais mostraram que esse movimento ocorre de forma independente nos dois olhos (RIGGS; RATLIFF, 1951), mas posteriormente se

mostrou possível haver certa sincronicidade devido à atividade do neurônio motor (SPAUSCHUS *et al.*, 1999). Devido à característica de sua amplitude e frequência é difícil fazer sua detecção, muitas vezes sendo detectado como ruído pelo equipamento (OTERO-MILLAN *et al.*, 2014). Apesar de estudos proporem que o tremor tem origem no neurônio motor, ainda não se sabe como são gerados ou qual sua utilidade na visão.

2.4.2 Drift

O *drift* é o mais lento entre os movimentos de fixação e ocorre entre microscadadas, sua amplitude é normalmente menor que 0.13° e sua velocidade menor que $0,5^\circ/\text{minuto}$ (ROLFS, 2009). Inicialmente se acreditou que *drifts* eram movimentos aleatórios (DITCHBURN; GINSBORG, 1953), mas estudos depois mostraram que eles eram gerados pela ação combinada da estabilização do olhar e da retina, uma vez que os olhos tendem a se desviar para uma posição central (LEIGH; ZEE, 2015). Outra característica é sua ocorrência nos dois olhos, onde estudos conduzidos por Ditchburn e Ginsborg (DITCHBURN; GINSBORG, 1953) mostraram que há convergência em seus movimentos no eixo vertical, já na horizontal o movimento se mostra mais ondulatório, por vezes divergindo e outras convergindo. No que se refere à sua função, (CYR; FENDER, 1969) encontrou que trata de corrigir erros de diferenças binoculares no eixo horizontal.

2.4.3 Microscadada

Microscadadas, também chamadas sacadas de fixação, são movimentos curtos e rápidos que ocorrem durante fixações voluntárias (MARTINEZ-CONDE *et al.*, 2004), ocorrendo preferencialmente nos eixos horizontais e verticais, poucas vezes sendo oblíquo (ENGBERT; MERGENTHALER, 2006). As microscadadas possuem um comportamento muito semelhante com o das sacadas, foi mostrado (DITCHBURN; GINSBORG, 1953; KRAUSKOPF *et al.*, 1960) que elas compartilham muitas propriedades tanto físicas quanto funcionais, como por exemplo o fato de serem eventos binoculares e conjugados. Mas não só isso, também se propôs a hipótese de que sacadas e microscadadas possuíam mesmo gerador neural, a partir da observação de que as microscadadas seguem a relação velocidade-amplitude das sacadas (ZUBER *et al.*, 1965), que ambas estão correlacionadas com mudanças na atenção espacial (ROLFS *et al.*, 2008), e que seus intervalos partilham mesma restrição de tempo (OTERO-MILLAN *et al.*, 2008).

Posteriormente foi mostrado que sacadas e microscadadas possuem semelhante

controle neuronal no nível do colículo superior (HAFED; KRAUZLIS, 2012), o qual é a estrutura do cérebro responsável por controlar as sacadas (SPARKS, 2002), e que os neurônios que exibem atividade relacionada à microssacada frequentemente também exibem atividades relacionadas à sacada. Ainda, um gerador oculomotor comum ajudaria a explicar como sacadas e microssacadas são afetadas por distratores e atenção disfarçada. Entretanto, apesar de semelhantes, sacadas e microssacadas são movimentos diferentes, com funções distintas, e embora não haja um critério definitivo para diferenciá-las, costuma se convencionar que toda sacada menor que 1 grau é considerada microssacada (ENGBERT; KLIEGL, 2003a; GALFANO *et al.*, 2004; KO *et al.*, 2010).

2.4.3.1 *Drifts e microssacadas*

Na busca de ir além da análise individual dos movimentos de fixação e investigando suas possíveis relações internas, Engbert (ENGBERT *et al.*, 2011) propôs um modelo de *self-avoiding walk* sugerindo que *drifts* e microssacadas possuem um mecanismo de controle em comum, provavelmente no colículo superior.

Em 2017, ainda seguindo essa linha, Herrmann, Metzler e Engbert (HERRMANN *et al.*, 2017), sugerem uma provável interação entre *drifts* e microssacadas, uma vez que seus dados mostram que ambos os movimentos são distintamente implementados para manter por um longo período a precisão da fixação. Em um trabalho anterior (ENGBERT; KLIEGL, 2004), se havia encontrado que movimentos de fixação são caracterizados pelo comportamento de escala fundamental do deslocamento médio quadrado. Nesse trabalho mais recente se constrói um modelo que reproduz as funções de correlação oscilatória, a transição de persistência para anti persistência e as microssacadas, combinando *self-avoiding walk* e atraso temporal. Entretanto, esses resultados foram obtidos com experimentos de fixação em um único alvo, quando foi analisado em tarefas de busca visual (AMOR *et al.*, 2016) não foi observado nos movimentos de fixação o comportamento de escala fundamental do deslocamento médio quadrado. Esses resultados podem indicar que diferentes tarefas cognitivas acarretam em diferentes comportamentos dos movimentos de fixação, sendo necessários mais estudos para entender essas contradições.

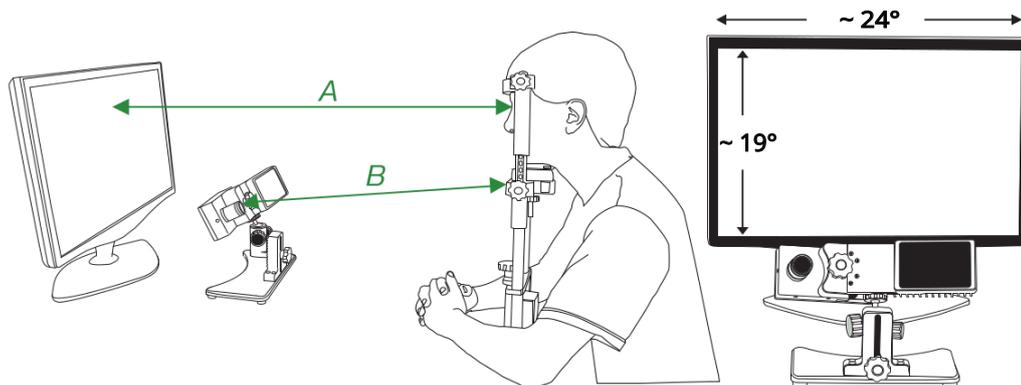
3 METODOLOGIA

Para coletar os dados dos experimentos utilizamos o rastreador ocular *SR Research EyeLink 1000*, que nos permite gravar a posição do olhar, o tamanho da pupila, a velocidade instantânea e o tempo de duração. O sistema utiliza a técnica de *Pupil Centre Corneal Reflection (PCCR)* (GHAOUI, 2005), na qual uma luz infravermelha é direcionada no olho do indivíduo e os reflexos provenientes da córnea e da retina são capturados pela câmera para calcular a posição do olhar com alta precisão.

O equipamento consiste em dois computadores que estão conectados por uma ligação *Ethernet*, o computador com o software do *EyeLink* e o computador onde é desenhado o experimento e que recebe os dados da posição do olhar, nesse segundo computador também está conectado um tela que possui uma resolução de 1024 x 768 pixels, para a qual o participante vai olhar durante o curso do experimento, além disso, há também a câmera acoplada com o emissor de luz infravermelha, posicionada abaixo da tela do participante, e um suporte para a cabeça, a fim de que não hajam movimentos durante o experimento.

O software de rastreamento ocular utilizado possui frequência máxima de gravação de 2000 *Hz* para experimentos monoculares, e de até 1000 *Hz* para experimentos binoculares sem perda da resolução espacial, enquanto calcula a posição do olhar a partir da reflexão da luz detectada pela câmera e analisa movimentos de sacada e fixação, assim como as piscadas. A precisão média do equipamento, que é a diferença média entre a posição do olhar medida pelo rastreador e a posição real é de até $0,15^\circ$, com um alcance de rastreamento de 60° na horizontal e 40° na vertical, e uma resolução espacial menor de $0,01^\circ$ RMS. A câmera pode ter

Figura 7 – Configuração do equipamento durante o experimento. A tela e a câmera foram posicionadas de modo que as distâncias A e B são, respectivamente, aproximadamente 83 cm e 54 cm.



Fonte: (NADA,).

seu ângulo de posicionamento ajustado, a fim de se ter uma boa visão dos olhos do participante, e permite que pessoas que usam óculos participem do experimento. Para a realização dos experimentos posicionamos a câmera a uma distância de 54 cm e a tela a uma distância de 83 cm, aproximadamente, de onde fica posicionado os olhos do participante, como é mostrado na Figura 7. A frequência de gravação escolhida foi de 1000 Hz utilizando o rastreamento binocular e com a lente da câmera de 25 mm. As distâncias e a lente foram escolhidas de acordo com as recomendações do equipamento para experimentos binoculares, é indicado que a distância entre o participante e a tela seja no mínimo 1,75 vezes a largura da tela, e que a distância entre o participante e a câmera seja entre 40cm e 55cm.

Antes do início da coleta de dados do participante, é realizada a calibração do equipamento, que tem como objetivo coletar dados de fixação em pontos pré determinados e assim saber corretamente os locais que estão sendo fixados durante o experimento. Durante a calibração o participante deve olhar para o centro do ponto que aparece na tela (Figura 8), que desaparece depois que a posição do olhar é detectada e reaparece em outro lugar da tela. Por fim é realizada a validação, onde é verificada a precisão do sistema em relação aos pontos e os locais de fixação que foram calculados. Caso a precisão não seja satisfatória o processo de calibração é repetido. Durante o experimento, um procedimento utilizado na verificação da precisão dos dados que estão sendo coletados é o *drift correction*. Ele consiste na visualização de um ponto no centro da tela, como em b) na Figura 8, caso a posição do olhar esteja próxima

Figura 8 – Processos de checagem de precisão. a) Após a calibração de nove pontos, são mostrados na tela os pontos juntamente com a posição do olhar detectado e o erro entre eles, caso o erro médio seja maior que $0,5^\circ$ e o erro máximo seja 1° o processo de calibração é repetido. b) No *drift correction* é utilizado apenas um ponto, se o olhar do participante estiver afastado do ponto é realizada uma calibração, para melhorar precisão da posição.



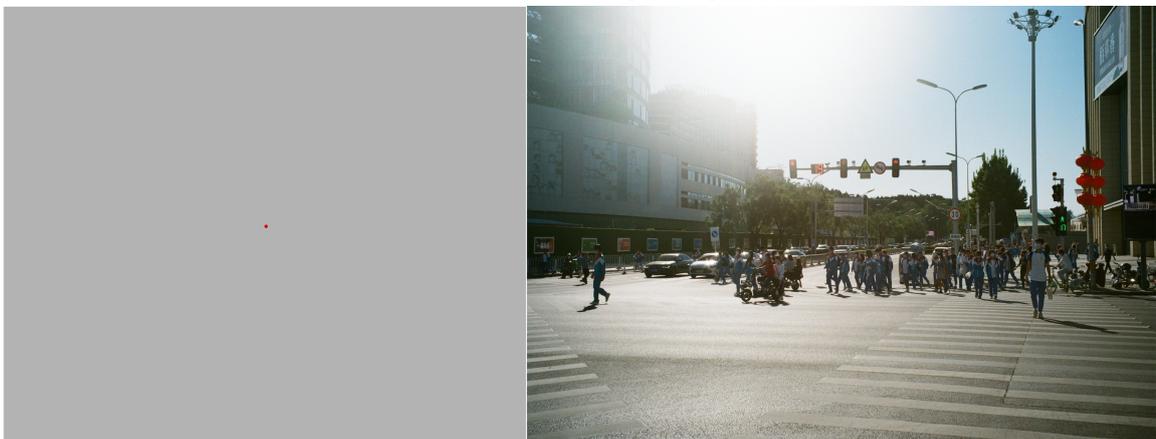
Fonte: (NADA,).

do ponto a precisão continua boa, caso contrário é realizada uma nova calibração antes de dar prosseguimento ao experimento.

3.1 Experimento 1

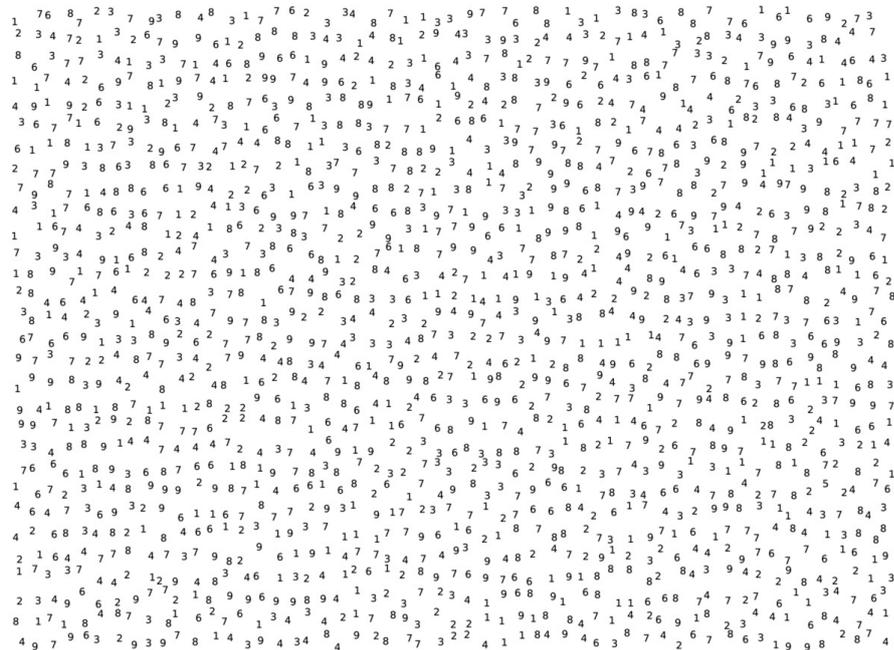
Esse primeiro experimento é composto por duas partes, onde a primeira parte é realizada quatro vezes e a segunda é realizada três vezes. Após lidas as instruções e tendo realizado a calibração se inicia a primeira parte, ela consiste em cinco imagens que contêm apenas um ponto colorido de $0,12^\circ$, assim como o utilizado por Engbert (ENGBERT; MERGENTHALER, 2006), em um fundo cinza que se intercalam com imagens de conteúdo diverso, como as na Figura 9. Durante a apresentação das imagens de ponto, que têm duração de 5 segundos, o participante deve fixar o olhar no ponto tentando não piscar, já durante a apresentação das outras imagens a visualização é livre para que o participante possa relaxar o olhar, tendo duração de 10 segundos. Antes de cada imagem de ponto, é colocada uma tela com fundo cinza simultaneamente com um beep de 1 segundo, a fim de manter o participante atento à tarefa de fixação. A segunda parte consiste em uma sequência de dez imagens de ponto, iguais às mostradas na primeira parte, onde o primeiro ponto está sempre no meio da tela e os pontos seguintes vão mudando de lugar para posições escolhidas aleatoriamente, seguida uma imagem de visualização livre para possibilitar sacadas e piscadas, assim como as da primeira parte e com a mesma duração. Ao fim da segunda parte é realizado um *drift correction*, para garantir que a precisão dos dados continua como

Figura 9 – Exemplo de imagens apresentadas no experimento 1. A imagem à esquerda é uma das imagens de ponto, nela o ponto é vermelho, mas também aparecem pontos nas cores amarelo, verde e azul, sempre com tamanho de $0,12^\circ$. A imagem à direita é uma das imagens de visualização livre, esse conjunto de imagens é bastante diversificado quanto ao conteúdo e possui como único intuito o relaxamento visual do participante.



Fonte: Elaborada pela autora (à esquerda); (NADA,) (à direita).

Figura 10 – Exemplo de imagem da nuvem de números. Imagem da parte dois do experimento 2, no qual é realizado uma tarefa de busca visual, onde o participante deve encontrar o número 5.



Fonte: (AMOR *et al.*, 2016).

esperado, e se inicia novamente a primeira parte. No total são realizadas vinte *trials* de ponto fixo e três *trials* de ponto móvel. O experimento em geral tem duração entre 8 a 10 minutos.

3.2 Experimento 2

O segundo experimento, assim como o primeiro, inicia com a tela de instruções e a calibração do equipamento, passando em seguida para uma tarefa de busca visual do número cinco em uma nuvem de números, tal como a Figura 10. O tempo máximo dado para realizar a tarefa é de 3 minutos, podendo o participante pressionar qualquer tecla do teclado caso encontre o número antes do tempo acabar. São apresentadas três nuvens de números diferentes, intercaladas por uma imagem para relaxar o olhar, com duração de 10 segundos, e um *drift correction* para analisar a precisão dos dados sendo coletados, indicando se deve ou não ser repetida a calibração. O experimento em geral tem duração entre 9 a 11 minutos.

3.3 Participantes

As pessoas convidadas a participar dos experimentos eram todos alunos da Universidade Federal do Ceará. Alguns alunos apresentavam problema de visão, mas apenas aqueles nos

quais o problema de visão não interferia na coleta de dados pelo equipamento participaram do experimento. Por se tratar de um experimento binocular, não era viável a participação de pessoas com estrabismo. Além disso, ocasionalmente o equipamento não conseguia realizar uma boa detecção dos dois olhos de pessoas que utilizavam óculos, impedindo sua participação.

Para os experimentos 1 e 2 foram utilizados, respectivamente, 25 e 15 alunos. Os experimentos realizados nesse projeto foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Ceará, sob o parecer de número 5.948.181. Todos os participantes assinaram o termo de consentimento livre esclarecido e a coleta de dados só foi iniciada após a aprovação.

3.4 Limpeza de dados

Os dados do software do *EyeLink* coletados nos experimentos 1 e 2, descritos nas seções acima, que foram utilizados são as posições das coordenadas x e y do olhar, dados em pixel pelo equipamento, o tempo em milissegundos e a as resoluções dos eixos x e y, em pixel por grau. O equipamento também informa sobre os eventos visuais que ocorrem ao longo do experimento, sacadas, fixações e piscadas, assim como do que está sendo apresentado na tela ao participante. Tendo essas informações, iniciamos separando os dados de acordo com o estímulo sendo apresentado, ponto fixo, ponto móvel e busca visual.

Dos *trials* de visualização de ponto fixo realizados, retiramos aqueles que possuíam piscadas ou que em algum momento o equipamento não tenha conseguido coletar os dados. Esse erro ocasional na coleta se dava geralmente por algum movimento realizado pelo participante, sendo em seguida corrigido através de uma nova calibração. Nos outros dois conjuntos de dados retiramos apenas as piscadas, incluindo dez pontos antes e depois de cada uma. Incluímos esses pontos pelo fato de o equipamento não conseguir coletar suas posições, devido à não detecção de uma das reflexões pouco antes do olho abrir ou fechar. Nesses dados analisamos as partes que possuíam erro de coleta, decidindo pela retirada apenas de uma parcela dos dados, ou de todo o *trial*.

3.4.1 Detecção de microssacadas

Para a detecção das microssacadas utilizamos como base o algoritmo construído por Engbert e Kliegl (ENGBERT; KLIEGL, 2003b; ENGBERT; MERGENTHALER, 2006).

Nesse algoritmo os dados da posição são primeiramente transformados de pixel para grau, onde utilizamos as dimensões do monitor e a distância entre os olhos do participante e a tela, na calculadora de ângulo visual do *EyeLink*, e em seguida as velocidades de cada ponto são calculadas utilizando uma média móvel da posição, a fim de suprimir o ruído de alta frequência, pela equação

$$\vec{v}_n = \frac{\vec{x}_{n+2} + \vec{x}_{n+1} - \vec{x}_{n-1} - \vec{x}_{n-2}}{6\Delta t}, \quad (3.1)$$

onde Δt é o inverso da frequência utilizada, sendo no nosso caso 0,001 s. Para suavizar o ruído, novas posições são calculadas pela soma cumulativa da velocidade

$$\vec{x}_n = \vec{x}_0 + \Delta t \sum_{i=1}^n \vec{v}_i. \quad (3.2)$$

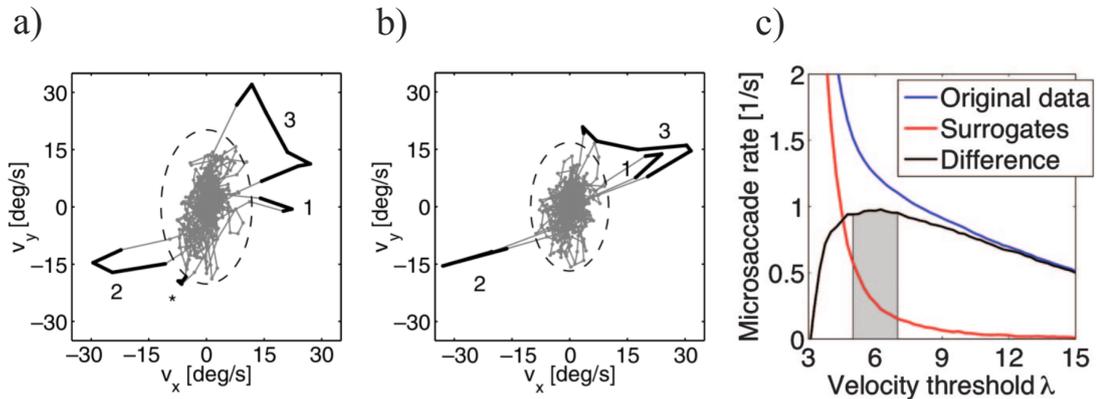
Tendo encontrado as velocidades é necessário então encontrar os limites dos valores das velocidades no qual, caso o ponto esteja acima desse limite, ele é detectado como uma possível microssacada. Esse limite, η , é calculado a partir da multiplicação de um parâmetro λ pela variância da velocidade, de modo que cada eixo, assim como cada olho, possui um limite diferente, mas sempre com o mesmo λ .

$$\eta_{x,y} = \lambda \cdot \sigma_{x,y}. \quad (3.3)$$

$$\sigma_{x,y} = \langle v_{x,y}^2 \rangle - \langle v_{x,y} \rangle^2. \quad (3.4)$$

O parâmetro λ é arbitrário, mas é possível encontrar seu valor mais adequado ao dado utilizando o método de *surrogate data*, construindo um novo conjunto de velocidades. Encontramos primeiro a fase de Fourier das velocidades originais, multiplicamos essas fases por um número aleatório que varia entre 0 e 2π , e por fim as transformamos de volta para velocidade. A partir disso, aplicamos o método de detecção de microssacadas nos dois dados para uma faixa de valores de λ . E então calculamos a diferença entre a fração de microssacadas detectadas nos dados originais e nos dados de *surrogate*. O valor de λ escolhido será o que está mais próximo do máximo da curva dessa diferença, como é mostrado em c) na Figura 11.

Figura 11 – Detecção de microssacadas. Em a) e b) estão representadas as velocidades de cada olho, onde as elipses tracejadas representam os limites de velocidade e as linhas mais escuras as microssacadas detectadas. Os números mostram o par de microssacada equivalente em cada olho e o símbolo '*' é um ruído que inicialmente foi detectado como microssacada. O gráfico em c) mostra as curvas da fração de microssacadas detectadas para os dados originais (em azul) e para os dados de *surrogate* (em vermelho) para valores de λ entre 3 e 15, e a diferença entre elas (em preto). O pico da diferença se dá mais próximo de $\lambda = 6$, utilizado na construção dos limites em a) e b).



Fonte: (ENGBERT; MERGENTHALER, 2006; ENGBERT; KLIEGL, 2003b).

Para ser considerada microssacada não basta apenas ser detectada fora do limite de velocidades, precisa também atender algumas condições. Primeiramente, uma microssacada é definida como um evento binocular (CIUFFREDA *et al.*, 1995) que precisa ser detectada nos dois olhos, caso contrário é considerado ruído, devendo cumprir as seguintes condições temporais:

$$a_2 > b_1 \quad (3.5)$$

e

$$a_1 < b_2, \quad (3.6)$$

o que significa que a microssacada detectada em um olho deve sempre terminar depois que a detectada pelo outro olho (no intervalo $[b_1, b_2]$) começa. A segunda condição que deve obedecer é a de tempo mínimo de duração, que também tem a finalidade de suprimir ruído, sendo o utilizado por Engbert de 6 ms, o qual também utilizamos. E por fim, a última condição imposta é a de que a microssacada deve ter amplitude menor de 1° , se for igual ou superior a 1° ela passa a ser considerada uma sacada.

Apesar de o método de detecção de microssacadas desenvolvido por Engbert ser o empregado, esse não é o único, outro método foi desenvolvido por Hauperich (HAUPERICH

et al., 2019), onde ela utiliza como parâmetro de detecção a correlação entre a rapidez dos movimentos, diferente de Engbert que utiliza as velocidades.

3.5 Dados externos

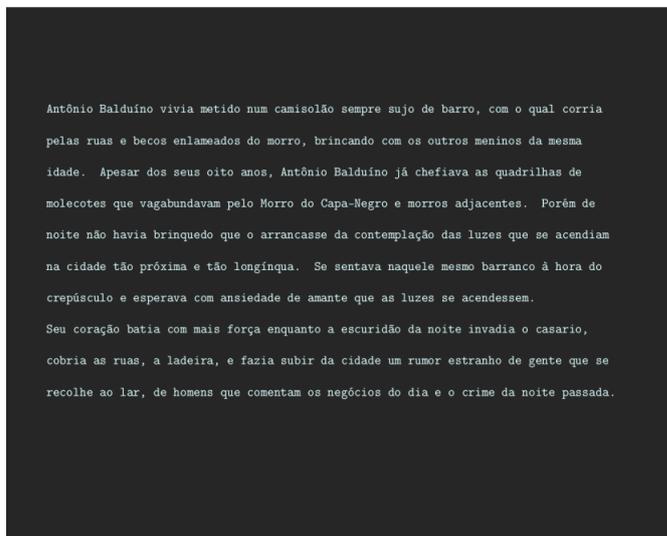
Para a análise dos tempos de fixação que será desenvolvida no Capítulo 4 utilizamos alguns conjuntos de dados que não se referem aos experimentos realizados nesse projeto, referentes a experimentos de leitura, busca visual e visualização livre.

Dispusemos de dados dos experimentos de leitura, no qual eram apresentados aos participantes textos de diferentes níveis de complexidade e coerência (TORRES *et al.*, 2021).

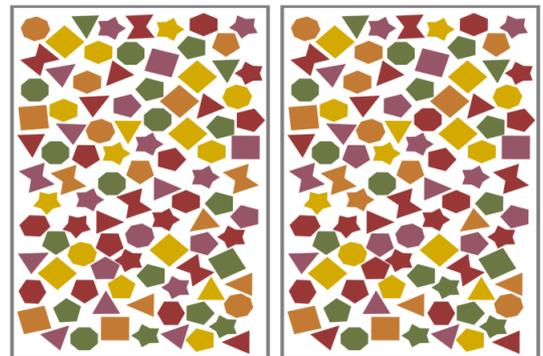
Os dados de busca visual são referentes a quatro experimentos diferentes. O primeiro (CREDIDIO *et al.*, 2012) consistia na tarefa de encontrar o número 5 dentro de uma matriz de números 2, que serviam como distratores, no qual os números eram coloridos aleatoriamente

Figura 12 – Exemplo de estímulos dos experimentos. a) Experimento de leitura, passagem do livro Jubiabá de Jorge Amado. b) Experimento para encontrar quatro diferenças. c) Experimento de busca do Wally. d) Experimento de busca 5-2.

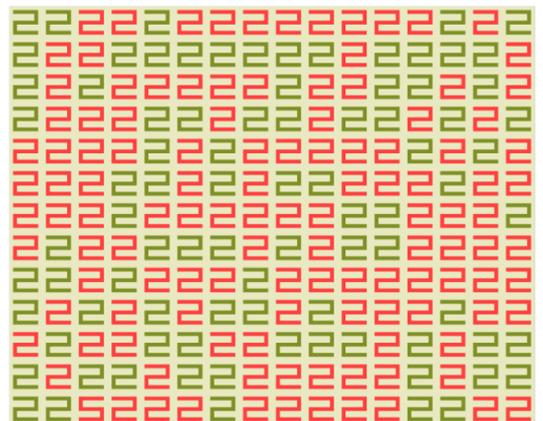
a)



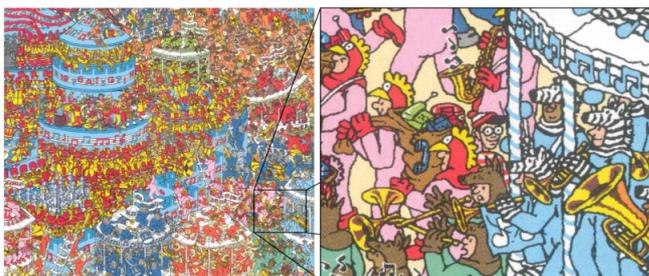
b)



d)

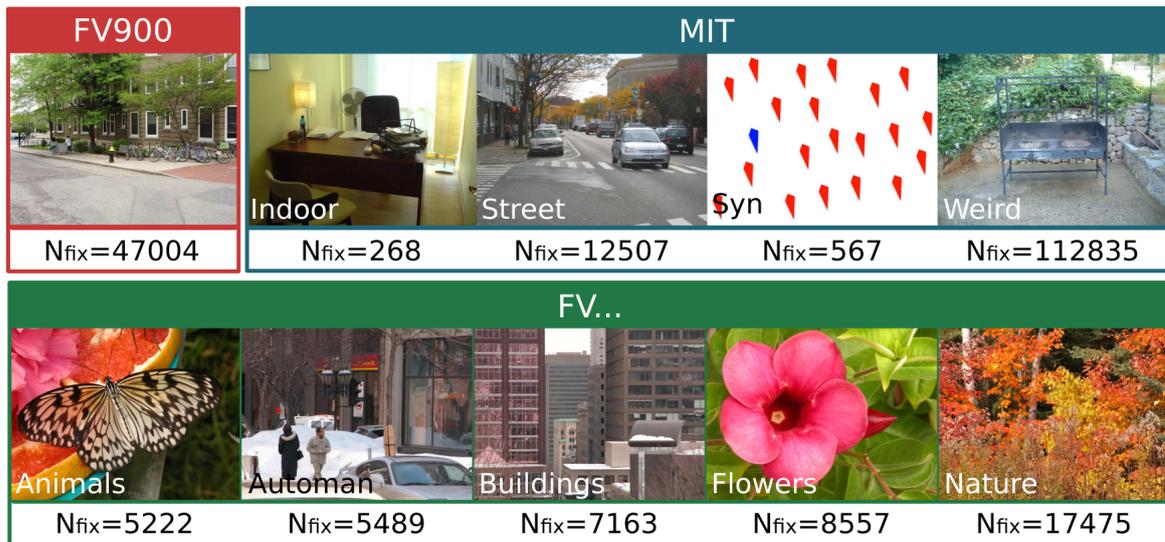


c)



Fonte: (CREDIDIO, 2012).

Figura 13 – Imagens apresentadas nos experimentos de visualização livre e o número de fixações.



Fonte: (AMOR, 2017).

de verde ou vermelho, utilizando diferentes quantidades de distratores para variar o grau de dificuldade da tarefa. No segundo era preciso encontrar o personagem Wally da série de livros *Where's Wally?*, escondido em um plano de fundo repleto de outros personagens. No terceiro (AMOR *et al.*, 2017) se buscava o número 5 em uma nuvem de números (Figura 10), e o último tinha como objetivo encontrar diferenças entre duas imagens lado a lado, consistindo em polígonos que poderiam diferir em cor, formato ou ter sido rotacionado.

Todos os experimentos descritos anteriormente foram realizados na Universidade Federal do Ceará, os dois primeiro de busca visual (CREDIDIO *et al.*, 2012) utilizaram o rastreador ocular *Tobii T120*, ambos o de leitura (TORRES *et al.*, 2021) e os outros de busca visual (AMOR *et al.*, 2017) utilizaram o rastreador *EyeLink 1000*.

Por fim, utilizamos também dados públicos de experimentos de visualização livre, de diferentes categorias de imagens. O primeiro conjunto de dados, FV900 (EHINGER *et al.*, 2009), apresentava imagens de cenas ar livre e utilizava o rastreador *ISCAN RK-464*. O segundo apresentava imagens não só de cenas ao ar livre, mas também cenas em ambientes fechados e imagens gráficas, MIT (JUDD *et al.*, 2009), não se sabe o equipamento utilizado para o rastreamento ocular. O terceiro conjunto de dados, FV (KOOTSTRA *et al.*, 2011), mostrava imagens de animais, prédios, flores, natureza e cenas automáticas, utilizando o rastreador *EyeLink I*.

4 CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS PARA TESTE DE HIPÓTESE

Um modelo pode ser utilizado para descrever matematicamente um processo físico, auxiliando na sua compreensão e na de seus mecanismos, assim como na análise dos resultados. Ao buscar um modelo que se encaixe nos dados, é possível encontrar alguns que estejam bem distante do esperado e outros que se ajustem a todos os pontos. Assim, com o intuito de evitar sobre ajustes ou subajustes, o objetivo não é encontrar o modelo perfeito, mas sim encontrar um modelo que consiga descrever bem nosso sistema da maneira mais simples (MOTULSKY; CHRISTOPOULOS, 2004).

Nessa procura por um modelo é necessário que haja algum parâmetro para classificá-lo como bom ou ruim. Para isso utilizamos os testes de hipótese, que são testes que fornecem recursos durante a escolha de rejeitar ou não a hipótese nula, H_0 , baseado em um critério estatístico (GIBBONS; CHAKRABORTI, 2014). Nesse trabalho, a hipótese nula é a afirmação de que uma dada amostra segue uma distribuição hipotética. Existem diferentes critérios que podem ser utilizados para a análise dessa escolha, que verificam a semelhança entre a distribuição e o conjunto de dados, a seguir vamos apresentar alguns deles.

4.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov (CHAKRAVARTI *et al.*, 1967) é um teste não paramétrico, o que significa que ele não assume nenhuma distribuição específica subjacente e admite que a amostra é aleatória. Sua implementação pode se dar em dois casos, nos casos uni amostral e biamostral. O primeiro é utilizado para identificar se uma dada amostra segue ou não uma distribuição hipotética. E no outro caso se utilizam dois conjuntos de dados, comparando-os para saber se pertencem a uma mesma distribuição.

4.1.1 Teste de Kolmogorov-Smirnov uni amostral

Como foi dito, esse teste realiza uma análise do conjunto amostral para determinar se ele pertence à distribuição utilizada como referência. Para isso, é calculado o valor de D , que é definido com a distância máxima absoluta entre a curva da função distribuição empírica dos dados, $F_n(x)$, e a função distribuição acumulada da distribuição hipotética, $F(x)$. A função distribuição empírica dos dados é simplesmente a proporção de valores de amostra menores ou iguais ao valor especificado x ,

$$F_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 1_{x_i \leq x}. \quad (4.1)$$

O cálculo da distância D se dá por

$$D_n = \sup_x |F_n(x) - F(x)|, \quad (4.2)$$

onde \sup é a função supremo. O outro valor crítico, p -value, depende do tamanho da amostra n e do valor escolhido para a hipótese nula. Em geral a hipótese nula de p -value é ≥ 0.05 , para que se possa assumir que os dados seguem aquela distribuição. A tabela abaixo mostra como são calculados esses valores para $n > 40$ (GIBBONS; CHAKRABORTI, 2014).

Tabela 1 – Valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov uni amostras.

p -value	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
D_n	$1.07\sqrt{n}$	$1.22\sqrt{n}$	$1.36\sqrt{n}$	$1.52\sqrt{n}$	$1.63\sqrt{n}$

4.1.2 Teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrais

Assim como o uni amostral, esse teste também toma como base a distância entre as curvas. Entretanto, aqui a distância vai ser calculada entre as duas curvas das distribuições empíricas, $F_{1,n}(x)$ e $F_{2,m}(x)$, das duas amostras. Nesse caso, D é dado por

$$D_{n,m} = \sup_x |F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)|. \quad (4.3)$$

$$c(\alpha) = \sqrt{-\frac{1}{2} \ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)}. \quad (4.4)$$

Além desse valor, a hipótese nula também vai depender do tamanho das amostras, n e m , devendo obedecer à condição

$$D_{n,m} > c(\alpha) \sqrt{\frac{n+m}{n \cdot m}}, \quad (4.5)$$

para que a hipótese seja aceita. A Tabela 1 mostra alguns dos valores mais comuns para α e $c(\alpha)$, sendo em geral utilizado $\alpha = 0.05$.

Tabela 2 – Valores críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrual.

α	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0001
$c(\alpha)$	1.22	1.36	1.48	1.63	1.73	1.95

Uma característica favorável desse teste é que se pode ser aplicado inclusive em casos onde o conjunto de amostras é pequeno. Entretanto, ele também possui sua desvantagem. Tal teste não funciona corretamente se os parâmetros ou a curva da distribuição hipotética forem estimados a partir do próprio conjunto de dados, invalidando os resultados dos valores críticos encontrados.

4.2 Soma dos quadrados dos resíduos

A soma dos quadrados dos resíduos (SSR) é definida como a discrepância entre os pontos dos dados da amostra e os da curva do modelo, que representa uma variação ou desvio da média. Essa soma é dada por

$$SSR = \sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2, \quad (4.6)$$

onde os valores y_i são da distribuição da amostra e os de $f(x_i)$ são da função modelo. Esse critério é utilizado para avaliar a qualidade da precisão da distribuição testada. Valores pequenos de SSR indicam um bom ajuste do modelo aos dados.

4.3 Critério de informação de Akaike

O critério de informação de Akaike (AIC) (AKAIKE, 1974) é usualmente utilizado para seleção de modelo e escolhe aquele que for mais simples e de melhor ajuste. Esse critério se fundamenta na Teoria da Informação, visto que um modelo nunca se adéqua perfeitamente aos dados sempre haverá uma perda de informação, a qual o AIC busca minimizar. Seu valor é estimado por

$$AIC = 2k - 2\ln(L), \quad (4.7)$$

sendo k o número de variáveis independentes e L o valor máximo da função de verossimilhança. Outro aspecto desse critério é que ele busca um equilíbrio para que não haja subajuste ou

sobreajuste. O valor de AIC em si não possui nenhum significado, apenas quando comparado com outros.

4.4 Critério de informação Bayesiano

O critério de informação Bayesiano (BIC) (SCHWARZ, 1978) deriva da probabilidade Bayesiana e, assim como o AIC, ajusta o modelo baseado na maximização da função de verossimilhança. O BIC também tem uma maior penalidade sobre modelos mais complexos, diminuindo sua probabilidade de ser selecionado. Seu cálculo é dado por

$$BIC = k \ln(n) - 2 \ln(L), \quad (4.8)$$

onde k e L são os mesmos da equação 4.7 e n é o tamanho da amostra. Vemos também que a penalidade aumenta dependendo do tamanho da amostra. Assim como nos critérios anteriores, o menor valor de BIC é o considerado de melhor ajuste.

4.5 Divergência de Kullback-Leibler

A divergência de Kullback-Leibler (KL) (KULLBACK; LEIBLER, 1951) quantifica quanto uma distribuição de probabilidade P difere de outra Q . Também é conhecida como entropia relativa, quantificando a informação perdida ao passar de P para Q . Dada por

$$D_{KL}(P||Q) = - \sum_i P_i \log \frac{Q_i}{P_i} = \sum_i P_i \log \frac{P_i}{Q_i}, \quad (4.9)$$

seu valor não possui métrica de distância, uma vez que não é simétrica e não satisfaz a desigualdade triangular. Caso o valor de KL seja igual a 0 então as funções são muito parecidas, mas se é igual a 1 então indica que possuem comportamentos diferentes.

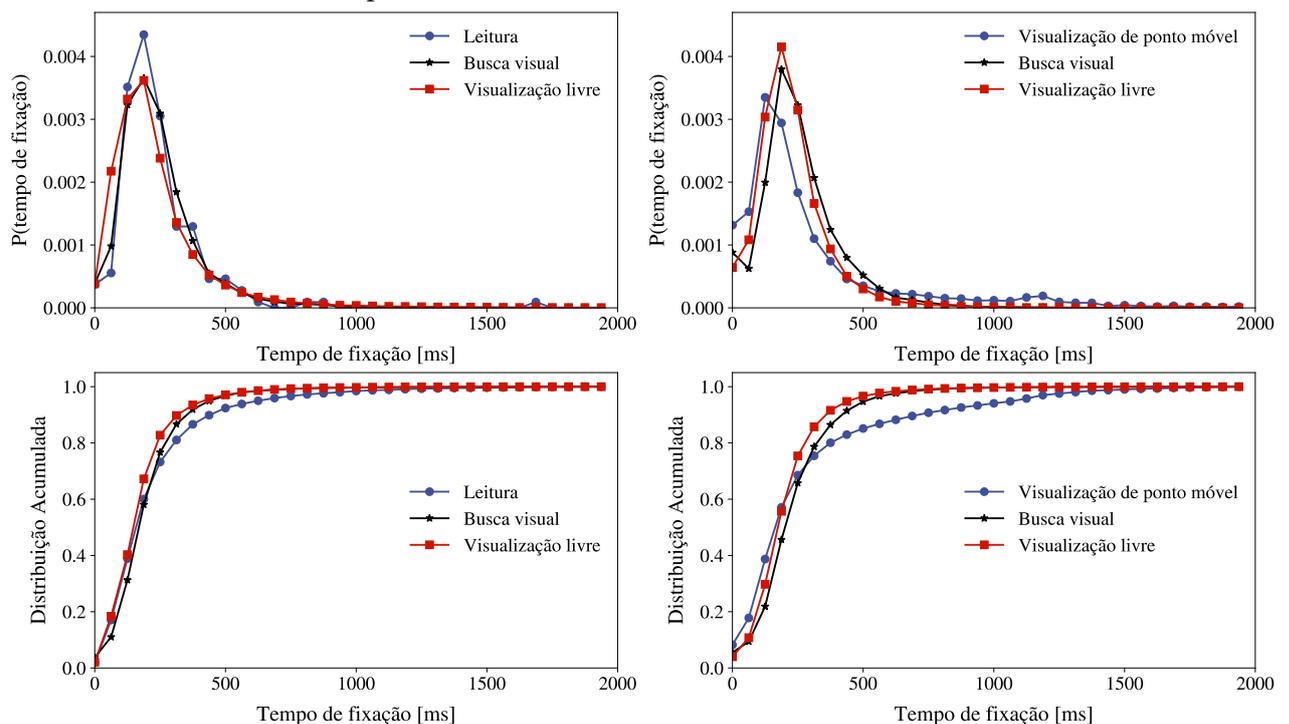
5 RESULTADOS

Como foi apresentado no Capítulo 2, a curva da distribuição de probabilidade dos tempos de fixação é a única propriedade desse movimento que se apresenta semelhante independente do tipo de experimento. Diante dos resultados apresentados na Figura 5, foi mostrado que esse comportamento está diretamente relacionado aos processos cognitivos. Sendo assim, encontrar uma função que consiga explicá-lo deveria também ser capaz de nos dar alguma informação acerca desses processos. Nesse capítulo vamos analisar a fixação considerando seus micromovimentos, buscando funções candidatas que consigam descrever seu comportamento na escala de fixações e micro fixações.

5.1 Tempos de fixação

A partir dos dados obtidos pelos experimentos descritos nas Seções 3.1 e 3.2, extraímos as durações de suas fixações, a fim de observar as curvas de suas distribuições de

Figura 14 – Distribuição das durações de fixação. Distribuições de probabilidade (acima) e distribuições acumuladas (abaixo) dos tempos de fixação. Os gráficos da esquerda são referentes aos experimentos externos, separados em busca visual, leitura e visualização livre. Os dados de busca visual são referentes aos experimentos 5-2, ClickDiff, TrialDiff, Wally e nuvem de números, e os de visualização livre FV e MIT, todos descritos na seção 3.5. Os gráficos da direita são referentes aos nossos experimentos realizados.



Fonte: Elaborada pela autora.

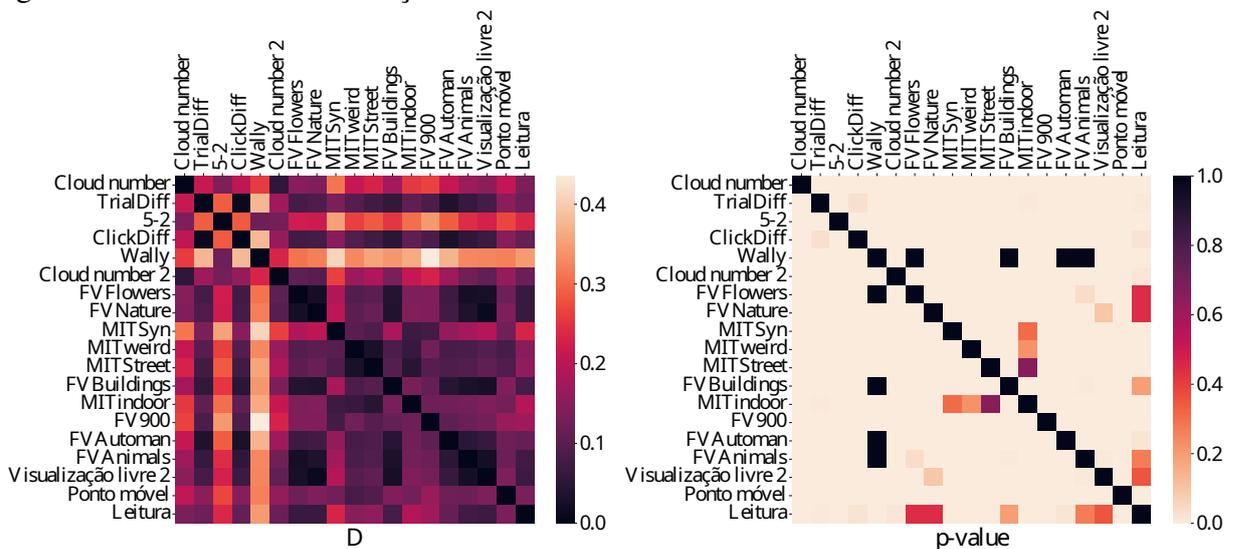
probabilidade. Ademais, utilizamos os dados apresentados na seção 3.5 para comparar nossos resultados com o de outros experimentos prévios.

Na Figura 14 temos, lado a lado, curvas de distribuição de probabilidade e distribuição acumulada de nossos conjuntos de dados e de dados de outros experimentos. Comparando seus comportamentos da curva de probabilidade, podemos ver que ambos são muito parecidos e se assemelham ao comportamento previamente descrito na Seção 2.3.4. Também na distribuição acumulada se veem semelhanças no modo em que a curva cresce. Entretanto, as distribuições da amostra de visualização livre são as que mais diferem, o que se dá provavelmente pela sua quantidade de dados ser menor se comparada com as das outras amostras.

Partindo desses resultados podemos supor a existência de um mecanismo gerador em comum, levando à busca por um modelo que explique esse comportamento. Se levarmos em consideração apenas o padrão da curva, com seu pico entre 200 e 300 ms e sua calda a para a direita, conseguimos enquadrar diversas funções distribuição. Entretanto, cada uma dessas distribuições possui propriedades diferentes, podendo ser também o caso das distribuições de cada tarefa. Então, antes de iniciar a busca por um modelo, vamos verificar se os conjuntos de dados são estatisticamente semelhantes. Para isso vamos utilizar o teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrual, que confere se dois dados conjuntos seguem uma mesma distribuição.

Na Figura 15 temos os valores de D e do p -value, descritos na Seção 4.1.2, encontrados para cada par de amostras. Podemos ver que a diagonal desses valores críticos, como

Figura 15 – Teste de Kolmogorov-Smirnov biamostrual. Para D (esquerda), valores que tendem a 0 indicam amostras com distribuição semelhante. Para p -value (direita), se seu valor for maior igual a 0.01 indicam semelhanças estatísticas.



Fonte: Elaborada pela autora.

esperado, possui valores de D próximos de 0 e valores de p -value próximos a 1. Analisando os resultados de D , vemos nem todos os pares apresentam uma proximidade entre as curvas, evidenciado pelos quadrados de cores mais claras. Isso poderia nos levar a supor que os resultados indicassem que a maioria das amostras derivassem de uma mesma distribuição, mas encontramos o contrário. O p -value, que representa a probabilidade de duas amostras pertencerem a uma mesma distribuição, apresenta valores abaixo de 0.01 para a maioria dos casos. Tal resultado indica que as amostras possuem propriedades de diferentes distribuições.

Tendo então que as distribuições possuem diferentes características estatísticas, é preciso uma abordagem diferente para se encontrar um modelo. Como foi dito, a fixação não é um movimento contínuo, mas sim composta por outros três movimentos. Se o comportamento das sacadas e fixações varia dependendo do tipo de tarefa que é realizada, é plausível admitirmos que os movimentos de fixação também variem. Essa é uma provável explicação para as diferenças obtidas no teste. Uma das principais características da microssacada é seu comportamento balístico, o qual não permite captação de informação visual. Sendo assim, se as durações das fixações são parcialmente controladas pelo processo cognitivo, podemos considerar que os intervalos entre as microssacadas são os eventos que melhor representam a duração da fixação como um todo. Portanto, vamos passar a analisar a fixação como a soma dos seus intervalos entre microssacadas, ou micro fixações, e estudar suas distribuições.

Em um estudo de 2006 (ENGBERT, 2006), foi realizado um experimento de visualização de ponto fixo no qual se analisou a distribuições das durações dos intervalos entre microssacadas (IMSI). O resultado obtido foi a curva mostrada na Figura 16, que se aproxima de uma reta ao ser observada na escala logarítmica. Sendo assim, os dados apresentavam o comportamento de uma distribuição exponencial, assumindo a possibilidade de um processo de Poisson subjacente.

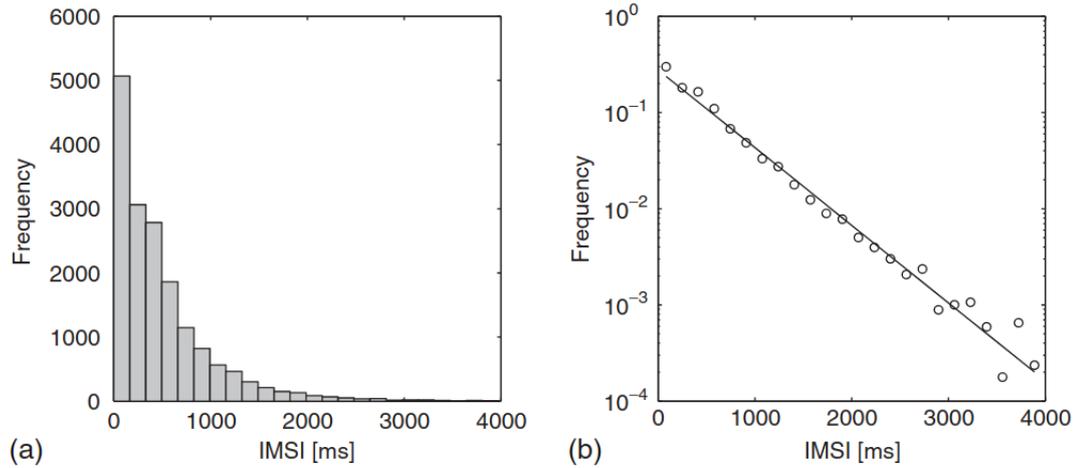
Partindo desse resultado, admitindo a fixação como uma soma desses intervalos,

$$Fixao = Microfix_1 + Microfix_2 + \dots + Microfix_n,$$

podemos realizar uma convolução de funções para encontrar a distribuição das durações dessas fixações. Seja f a distribuição de probabilidade do tempo de espera x entre dois eventos microssacádicos, ou seja, o tempo de uma micro fixação. Tal função tem a forma:

$$f(x) = \rho e^{-\rho x}, \tag{5.0}$$

Figura 16 – Distribuição dos intervalos intermicrosacádicos. O gráfico a direita evidencia uma distribuição exponencial ao se tornar uma reta na escala logarítmica.



Fonte: (ENGBERT, 2006).

onde ρ representa a taxa média de ocorrência de eventos (COX; MILLER, 1977). Tomando duas micro fixações e assumindo que suas durações vêm de distribuições da forma f , verifica-se que a distribuição de probabilidade para a duração de uma fixação composta por duas micro fixações é dada por:

$$(f_1 * f_1)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y) \cdot f_1(x-y) dy = \rho^2 \int_0^{\infty} e^{-\rho x} dy \quad (5.0)$$

$$f_2 = \rho^2 e^{-\rho x} x. \quad (5.0)$$

Seguindo o mesmo raciocínio, para uma fixação composta por três micro fixações obtem

$$f_3(x) = (f_1 * f_2)(x) = \frac{1}{2} \rho^3 e^{-\rho x} x^2. \quad (5.0)$$

Se continuarmos esse processo, encontraremos a distribuição que descreve a duração de uma fixação composta por n micro fixações como

$$f_n(x) = \frac{\rho^n e^{-\rho x} x^{n-1}}{\Gamma(n)}, \quad (5.0)$$

que pode ser reescrita na forma usual da função Gama,

$$f_n(x) = \frac{\beta^\alpha e^{-\beta x} x^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha)}. \quad (5.0)$$

Esse seria o caso para fixações com n microsacadas, com n sendo no mínimo 2. Entretanto, se queremos buscar um modelo robusto, devemos admitir também as fixações que possuem apenas uma ou nenhuma microsacada.

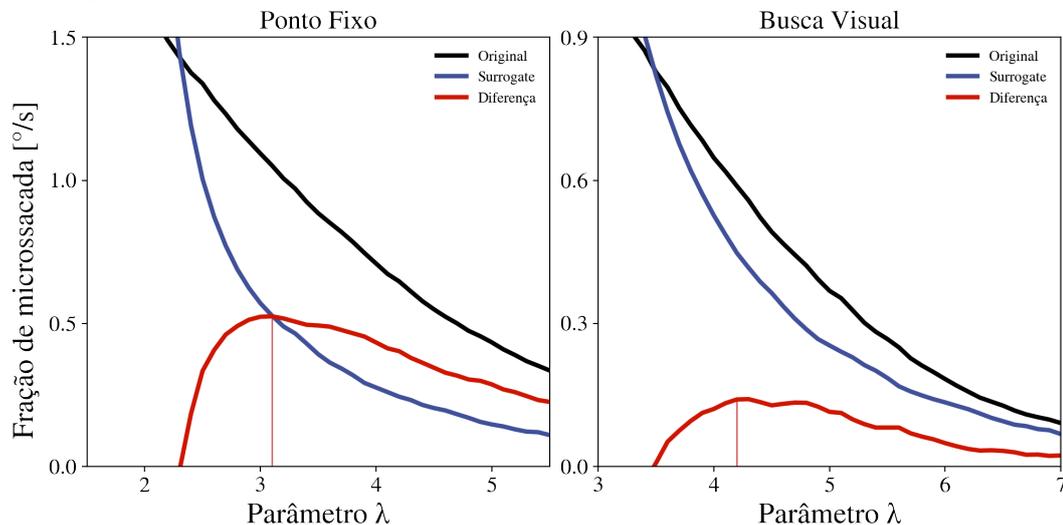
5.2 Detecção de microssacadas

Durante a limpeza dos dados coletados, retiramos todos os *trials* do experimento de visualização de ponto fixo que continham piscadas. Sendo assim, dos 500 *trials* que foram realizados, retiramos 90 deles. Para as outras tarefas todos os dados foram utilizados. Antes de aplicar o algoritmo de detecção foi necessário aplicar uma transformação na posição, dada em pixel pelo equipamento, para grau. Para isso utilizamos a dimensão do monitor, de 1024x768 pixels, e a distância do olho à tela, de 83 cm, para encontrar os novos valores de posição.

Em seguida utilizamos o método descrito na seção 3.4.1, com o parâmetro λ variando entre 1 e 12 com um passo de 0.1. O melhor valor de λ seria aquele que apresentasse a maior diferença entre as frações de microssacadas detectadas nos dados originais e nos dados modificados. Para os dados de ponto fixo encontramos um $\lambda = 3$ e para os dados de busca visual um $\lambda = 5$, como mostram as curvas em vermelho nos gráficos da Figura 17. Não foi possível realizar a mesma análise para os dados de ponto móvel, a quantidade de dados coletados foi insuficiente para a construção do gráfico.

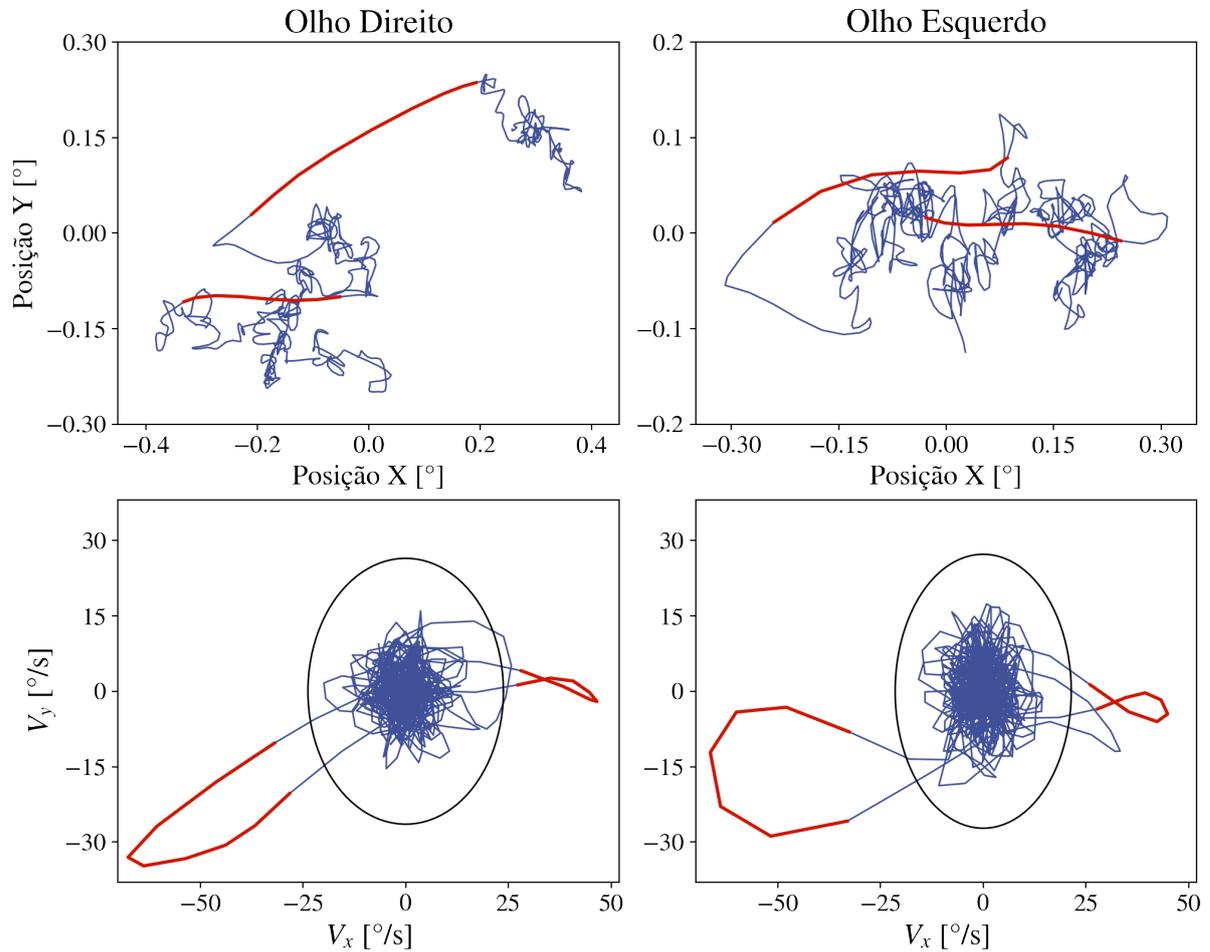
Após encontrados os λ pudemos encontrar os valores de η_x e η_y , que são os tamanhos dos eixos da elipse que representa o limite da velocidade. Na Figura 18 mostramos os gráficos da velocidade e seus limites, onde as linhas fora da elipse que estão marcadas em vermelho representam as microssacadas detectadas. Acima dos gráficos da velocidade estão os gráficos

Figura 17 – Escolha do parâmetro lambda. As curvas em preto e azul representam as frações de microssacada por segundo detectadas nos dois conjuntos de dados, original e modificado. A curva em vermelho representa a diferença entre elas, onde a linha em vermelho indica o ponto máximo da curva. Os valores escolhidos para λ foram os inteiros mais próximos do pico, 3 para os dados de ponto fixo e 4 para os dados de busca visual.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 18 – Detecção de microssacadas. Nos gráficos de cima é mostrado em azul a posição em grau do olhar de cada olho, com as microssacadas destacadas em vermelho. Nos gráficos de baixo é mostrada a velocidade, com a elipse representando os limites calculados e os trechos fora desses limites que são microssacadas em vermelho.



Fonte: Elaborada pela autora.

de posição do mesmo intervalo de tempo, também com os trechos que são microssacadas representados de vermelho.

No experimento de visualização de ponto fixo foram detectadas um total de 3624 microssacadas, e no de busca visual 2201, levando a taxas de 1.1041 e 0.774 microssacadas por segundo, respectivamente. O experimento de ponto fixo, por se tratar de uma tarefa que induz o olho a se movimentar menos do que em outros tipos de tarefa, acaba levando a uma maior geração de microssacadas.

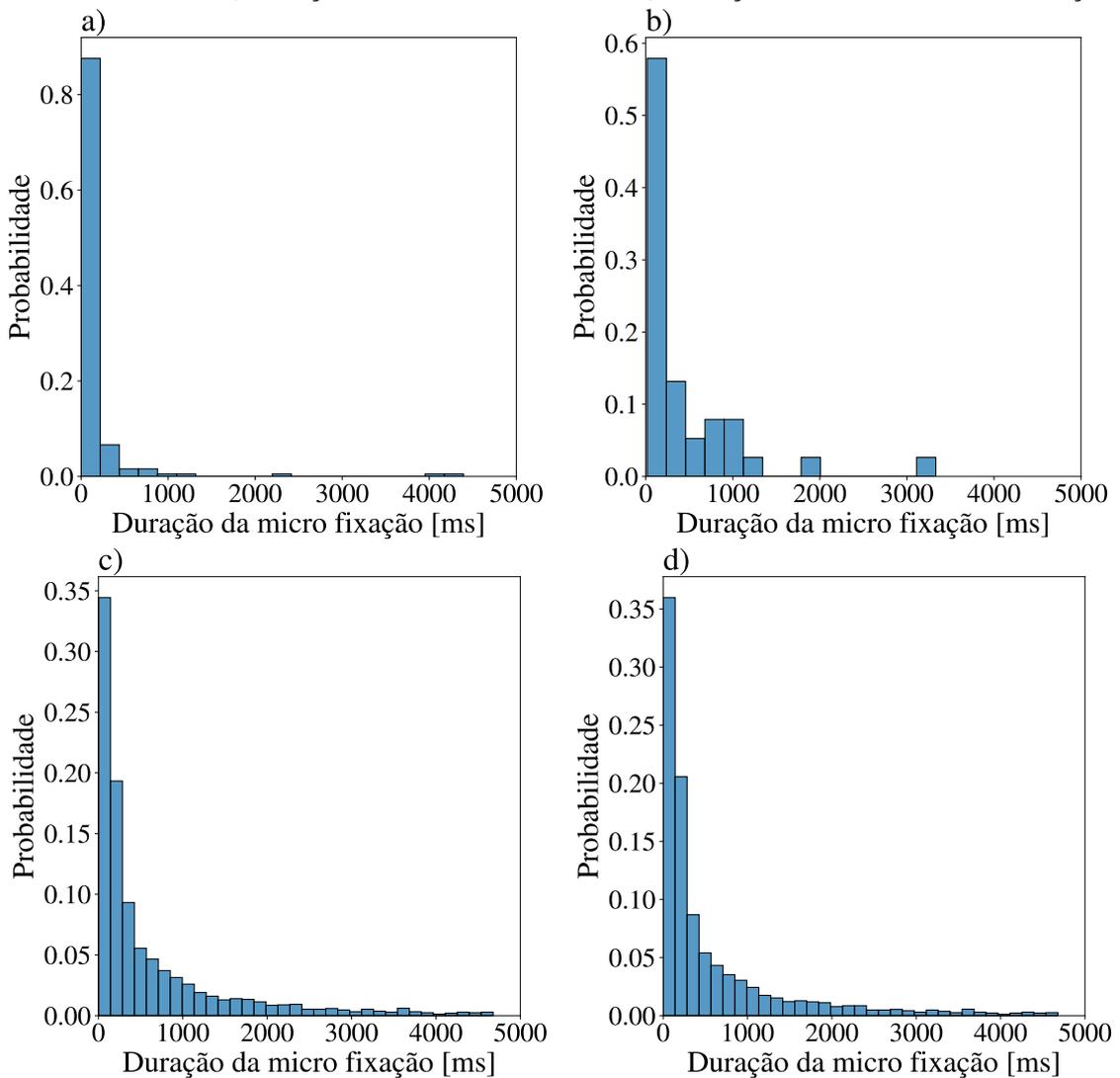
Tabela 3 – Resumo dos dados dos experimentos.

Estímulo	Nº de <i>trials</i> por participante	Duração	Nº total de <i>trials</i>	Valor de λ	Nº de microssacadas detectadas
Ponto fixo	20	5s	500	3	3624
Ponto móvel	3	10s	75	—	—
Busca visual	3	até 3min	45	4	2201

5.3 Micro fixações

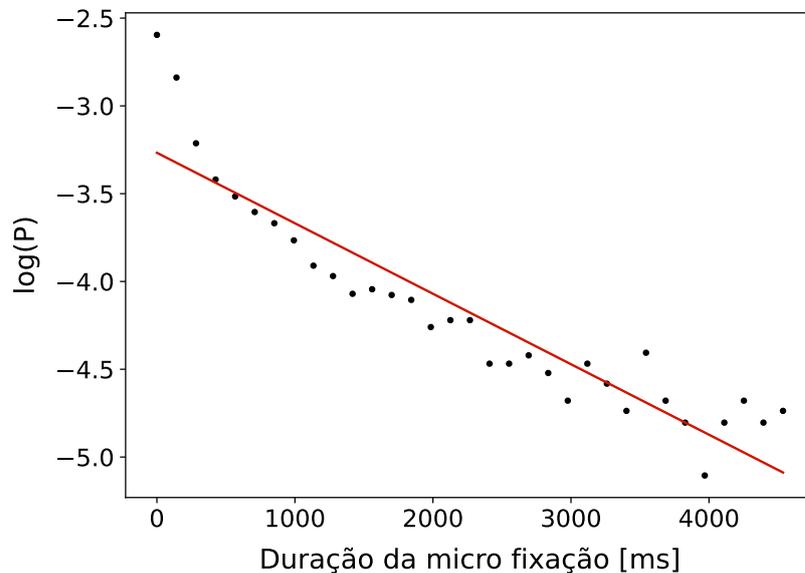
Tendo encontrado as microssacadas, calculamos as durações das micro fixações para todas as fixações analisadas, independente da quantidade de microssacadas presentes. Como foi dito, não sabemos quantas microssacadas haverá em cada fixação, então é preciso analisar todas para observar se há algum impacto na sua distribuição. Na Figura 19 temos as distribuições de duração das micro fixações para o experimento de ponto fixo. É possível notar que as distribuições para fixações com duas ou mais microssacadas (c) e para todas as fixações (d) são muito semelhantes. Isso é explicado pelo fato de haver poucas fixações com menos de duas microssacadas, como mostram as colunas esparsas dos gráficos a) e b). Também podemos

Figura 19 – Distribuição das durações de micro fixação durante visualização de ponto fixo. a) Micro fixações de fixações com duas ou mais microssacadas. b) Micro fixações de fixações com uma microssacadas. c) Fixações sem microssacadas. d) Durações de todas as micro fixações.



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 20 – Regressão linear da distribuição total da duração das micro fixações. Os pontos representam as alturas das colunas do histograma d) da Figura 19 na base logarítmica 10, e a reta em vermelho é a regressão linear que melhor se ajusta aos dados.



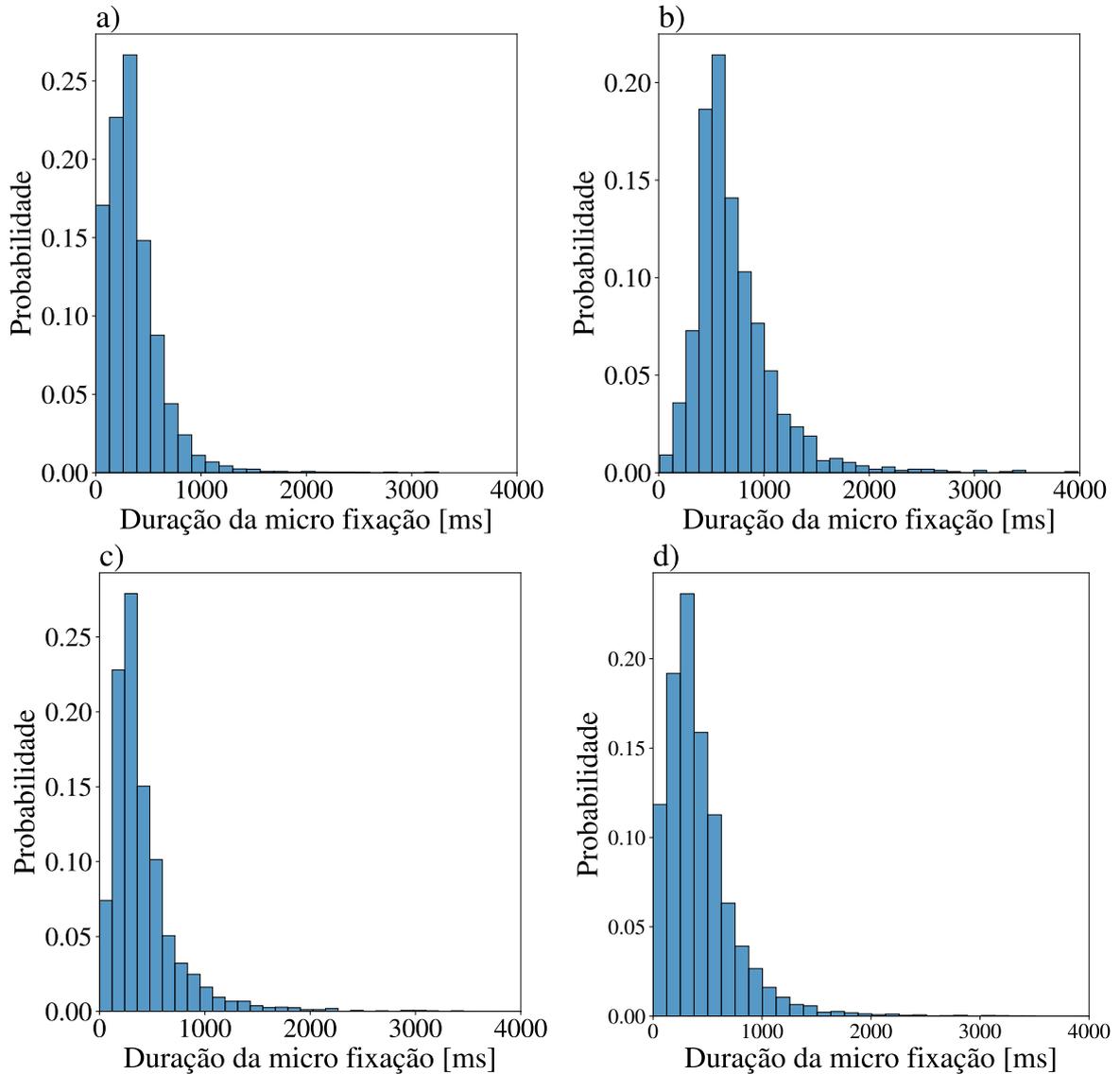
Fonte: Elaborada pela autora.

observar pelo gráfico a) que quase todas as fixações sem microssacadas se encontram na coluna de menor duração, sugerindo a maior presença de microssacadas em fixações mais longas. Sendo assim, tais fixações produzem micro fixações de curta duração em consequência do número de microssacadas, o que se mostra de fato na posição do pico da distribuição em c).

Se compararmos esse resultado com o que foi encontrado por Engbert, mostrado na Figura 16, notamos que visualmente elas se assemelham a distribuições exponenciais. Buscando uma confirmação mais que visual, realizamos a regressão linear da distribuição d) da Figura 19 e observamos que, apesar de os pontos não se ajustarem perfeitamente à reta, como é visto na Figura 20, a maioria deles se encontra próximo. Porém, antes de admitirmos a função gama como uma provável função modelo, é preciso analisar se as distribuições do outro conjunto de dados também vai seguir esse comportamento.

A Figura 21 mostra as distribuições durante o experimento de busca visual, na qual se nota uma quantidade maior de fixações com menos de duas microssacadas em comparação com os dados de ponto fixo. Isso se deve provavelmente ao tipo de tarefa, já que na busca visual há mais mudanças de atenção e a visualização de ponto fixo induz fixações mais longas. Outra característica que se observa é que o pico das distribuições também não se encontra mais no início, mas se mostra deslocado entre a faixa de 400 a 600 ms, provavelmente devido à menor taxa de produção de microssacadas. Evidentemente os dados de busca visual não seguem uma distribuição exponencial, de modo que a função gama não pode ser utilizada como modelo, o

Figura 21 – Distribuição das durações de micro fixação durante busca visual. a) Fixações sem microssacadas.. b) Micro fixações de fixações com uma microssacada. c) Micro fixações de fixações com duas ou mais microssacadas d) Durações de todas as micro fixações.



que nos leva a buscar outras possíveis funções.

5.3.1 Teste de hipóteses

Tendo encontrado essas distribuições, utilizamos o pacote *Fitter* (NADA,) do Python para comparar, entre um conjunto de funções escolhidas, qual se ajusta melhor a cada uma. Esse pacote fornece uma classe simples para ajuste de distribuição. Utiliza o pacote *scipy* para tentar até 80 distribuições e permite plotar os resultados para verificar qual é a distribuição mais provável. Ao implementar esse pacote ele busca os parâmetros de cada função que mais se aproxima da curva dos dados, e então utiliza alguns critérios estatísticos para embasar sua

Tabela 4 – Critérios estatísticos do teste de ajuste dos dados de busca visual.

	SSR	AIC	BIC	KL	KS (D)	KS (p-value)
Betaprime	$1.75 \cdot 10^{-7}$	3598	-540840	inf	0.06	$3.44 \cdot 10^{-56}$
Beta	$4.35 \cdot 10^{-7}$	56199	-521550	inf	0.08	$2.07 \cdot 10^{-126}$
Cauchy	$6.46 \cdot 10^{-7}$	2558	-513160	inf	0.13	$1.15 \cdot 10^{-309}$
Chi	$1.74 \cdot 10^{-6}$	12527	-492195	inf	0.15	0
Erlang	$4.03 \cdot 10^{-6}$	2444	-474367	inf	0.26	0
Burr	$6.62 \cdot 10^{-6}$	2306	-463835	inf	0.47	0
Lognormal	$7.00 \cdot 10^{-6}$	2435	-461336	inf	0.68	0
Gamma	$7.00 \cdot 10^{-6}$	2525	-110559	inf	0.16	$3.40 \cdot 10^{-124}$
Chi quadrado	$1.01 \cdot 10^{-5}$	142936	-454800	inf	0.96	0

Tabela 5 – Critérios estatísticos do teste de ajuste dos dados de visualização de ponto fixo.

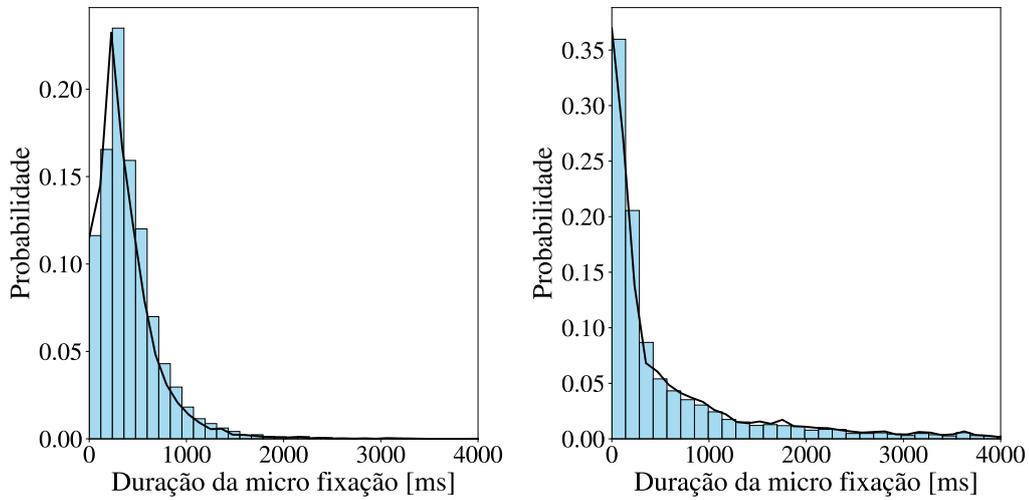
	SSR	AIC	BIC	KL	KS (D)	KS (p-value)
Erlang	$6 \cdot 10^{-6}$	1949	-110679	inf	0.12	$1.34 \cdot 10^{-61}$
Gamma	$6 \cdot 10^{-6}$	1988	-110970	inf	0.11	$4.88 \cdot 10^{-61}$
Lognormal	$6 \cdot 10^{-6}$	1990	-111305	inf	0.20	$1.45 \cdot 10^{-182}$
Chi quadrado	$7 \cdot 10^{-6}$	1945	-110502	inf	0.11	$7.56 \cdot 10^{-54}$
Beta	$7 \cdot 10^{-6}$	2525	-110559	inf	0.16	$3.39 \cdot 10^{-124}$
Burr	$7 \cdot 10^{-6}$	2027	-110216	inf	0.23	$1.12 \cdot 10^{-254}$
Chi	$8 \cdot 10^{-6}$	2039	-109882	inf	0.09	$7.00 \cdot 10^{-43}$
Betaprime	$10 \cdot 10^{-6}$	2077	-108405	inf	0.30	0
Cauchy	$19 \cdot 10^{06}$	2156	-104987	inf	0.26	0

escolha. Os critérios que esse pacote utiliza é a soma dos quadrados dos resíduos (SSR), o critério de informação de Akaike (AIC), o critério de informação Bayesiano (BIC), a divergência de Kullback-Leibler e o teste de Kolmogorov-Smirnov. Tendo realizado os cálculos, o *Fitter* fornece as melhores distribuições na ordem dos melhores valores da soma dos quadrados dos resíduos.

5.3.2 Ajuste de modelos

Aplicamos o teste de verificação do *Fitter* (NADA,) para verificar quais funções se ajustam melhor a ambos os conjuntos de dados, tanto do experimento do ponto fixo quanto o da busca visual. Para isso utilizamos a distribuição que inclui todas as durações de micro fixações independente do número do microssacadas detectadas. Como foi mostrado, cada conjunto de dados apresenta um comportamento diferente, fazendo necessário o teste com uma ampla variedade de funções. Algumas das distribuições testadas foram: cauchy, gama, log normal, beta, betaprime, chi, chi quadrado, burr e erlang. As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores calculados dos critérios estatísticos de cada uma dessas funções, utilizados como base para a escolha.

Figura 22 – Distribuição beta ajustada às distribuições das durações de todas as micro fixações. As colunas abaixo representam os dados do experimento de busca visual (esquerda) e ponto fixo (direito), e a curva em preto a distribuição beta parametrizada de forma a possibilitar o melhor ajuste.



Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando os valores de beta nas Tabelas 1 e 2, temos que a melhor distribuição para os dados de busca visual é a betaprime, e para os de ponto fixo é a erlang, com base no SSR. Admitindo essa sequência, a que possui um bom resultado com ambas as amostras é a beta,

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}. \quad (5.0)$$

A Figura 22 mostra o bom ajuste que se dá entre a curva de beta sobre a distribuição das durações de micro fixação. Entretanto, se utilizarmos como base os outros critérios para ordenar as tabelas, encontraremos diferentes distribuições de maior semelhança: burr e chi quadrado para AIC, gama e cauchy para BIC, e betaprime e chi para KS(D). Em nenhum dos casos encontramos que uma é a melhor para as duas amostras. Em relação ao KL, todos deram infinito, e isso ocorre quando algum valor do denominador do logaritmo na equação 4.10 é zero. Já no teste KS, o *p-value* não pode ser levado em consideração, pelo fato de que os parâmetros de ajuste da função são calculados a partir do próprio conjunto de dados, o que o torna inválido.

6 CONCLUSÃO

Nesse trabalho nós estudamos a distribuição das durações de fixação e das durações de micro fixação em dois tipos diferentes de tarefa. Motivados pelo comportamento característico dos tempos de fixação em uma ampla gama de experimentos e por sua relação direta com a cognição, iniciamos a busca por um modelo que pudesse explicá-lo. Contudo, ainda que as distribuições desses tempos sigam um comportamento semelhante tanto na distribuição de probabilidade quanto na acumulada, a aplicação do teste biamostrual de Kolmogorov-Smirnov em um conjunto de dados de 15 experimentos diferentes mostrou que elas possuem diferentes características estatísticas. Sabendo que a fixação é composta por micro movimentos, o estudo a cerca deles pode ajudar a entender melhor essa questão. Sendo assim, propomos a análise dos tempos de micro fixações para a busca de um modelo.

Foram feitos dois experimentos com 40 participantes ao todo, no qual eram realizados três tarefas visuais, mas apenas duas puderam ser analisadas. Isso porque a quantidade de dados coletados na visualização de ponto móvel foi insuficiente para a aplicação do método de otimização do valor do parâmetro lambda. Com os outros dois conjuntos de dados conseguimos implementar o algoritmo de Engbert e Kliegl para detectar as microssacadas, encontrando taxas de 0.774 e 1.1041 microssacadas por segundo, na tarefa de busca visual e visualização de ponto fixo respectivamente. Essa diferença se dá pelo fato de a visualização do ponto fixo induzir fixações mais longas, e conseqüentemente gerando mais microssacadas. Visto que nossos olhos produzem diferentes quantidades de microssacadas em cada fixação, analisamos as distribuições das durações das micro fixações para todas as fixações detectadas.

Baseado em resultados anteriores que mostravam que a distribuição das durações das micro fixações seguem uma distribuição exponencial, testamos essa hipótese e encontramos uma reta aproximada ao passarmos para a base logarítmica as amostras de ponto fixo. Mas não foi encontrado um comportamento semelhante para a amostra de busca visual. Nesse caso, a hipótese de um processo de Poisson pode não ser adequada, lembrando que para um processo ser de Poisson, a taxa de ocorrência de eventos (microssacadas) deve ser constante. Embora seja razoável assumir essa condição para a visão de ponto fixo, essa condição pode não ser válida para os casos em que há uma variação do estímulo visual ou mudanças na atenção, como pode ocorrer na busca visual. Portanto, para tarefas visuais complexas, propomos descrever o padrão de microssacadas como um processo de Poisson não homogêneo. Para encontrar uma que se ajustasse bem aos dois dados, utilizamos uma ferramenta da linguagem Python que

compara amostra e modelo, fundamentando sua escolha na soma dos quadrados dos resíduos, no critério de informação de Akaike, no critério de informação Bayesiano, na divergência de Kullback-Leibler e no teste de Kolmogorov-Smirnov. Testando um conjunto de funções, a que apresentou melhor resultado para as duas amostras foi a distribuição beta, gerando bons valores para os critérios.

Iniciamos a busca de um modelo para explicar os tempos de fixação partindo dos movimentos de micro fixação, e encontramos a distribuição beta como uma possível candidata. Para dar mais força a esse resultado é indicado a análise de dados referentes a outros experimentos, além dos que foram realizados aqui, diversificando os tipo de tarefas. Seria interessante refazer os experimentos de visualização de ponto móvel, dado que se esperava um comportamento diferente do observado nos outros, algo como um meio termo entre eles.

REFERÊNCIAS

- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE transactions on automatic control**, Ieee, v. 19, n. 6, p. 716–723, 1974.
- AMOR, T.; REIS, S.; CAMPOS, D.; HERRMANN, H.; JR, J. A. **Persistence in eye movement during visual search**, *Sci. [S. l.]*: Rep, 2016.
- AMOR, T. A.; LUKOVIĆ, M.; HERRMANN, H. J.; JR, J. S. A. Influence of scene structure and content on visual search strategies. **Journal of The Royal Society Interface**, The Royal Society, v. 14, n. 132, p. 20170406, 2017.
- AMOR, T. M. A. Characterizing and modeling visual persistence, search strategies and fixation times. 2017.
- BARNES, G. R.; COLLINS, C. S. The influence of briefly presented randomized target motion on the extraretinal component of ocular pursuit. **Journal of neurophysiology**, American Physiological Society, v. 99, n. 2, p. 831–842, 2008.
- BROWN, A. C. **The Relation Between the Movements of the Eyes and the Movements of the Head, Etc.** [S. l.]: Henry Frowde, 1895.
- BURLESON-LESSER, K.; MORONE, F.; DEGUZMAN, P.; PARRA, L. C.; MAKSE, H. A. Collective behaviour in video viewing: A thermodynamic analysis of gaze position. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 12, n. 1, p. e0168995, 2017.
- CARL, J.; GELLMAN, R. Human smooth pursuit: stimulus-dependent responses. **Journal of Neurophysiology**, American Physiological Society Bethesda, MD, v. 57, n. 5, p. 1446–1463, 1987.
- CARPENTER, R. H. **Movements of the Eyes**. 2nd rev. [S. l.]: Pion Limited, 1988.
- CHAKRAVARTI, I. M.; LAHA, R. G.; ROY, J. Handbook of methods of applied statistics. (No Title), 1967.
- CIUFFREDA, K.; TANNEN, B.; CIUFFREDA, K.; TANNEN, B. Vergence eye movements. **Eye movement basics for the clinician**, p. 133, 1995.
- CLIFTON, C.; FERREIRA, F.; HENDERSON, J. M.; INHOFF, A. W.; LIVERSEDGE, S. P.; REICHLE, E. D.; SCHOTTER, E. R. Eye movements in reading and information processing: Keith rayner’s 40year legacy. **Journal of Memory and Language**, v. 86, p. 1–19, jan. 2016. ISSN 0749-596X.
- COX, D.; MILLER, H. **The Theory of Stochastic Processes**. [S. l.]: Taylor & Francis, 1977. (Methuen’s monographs on applied probability and statistics). ISBN 9780412151705.
- CREDIDIO, H. F. Padrões estatísticos do movimento ocular na busca visual. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, p. 56, 2012.
- CREDIDIO, H. F.; TEIXEIRA, E. N.; REIS, S. D.; MOREIRA, A. A.; JR, J. S. A. Statistical patterns of visual search for hidden objects. **Scientific reports**, Nature Publishing Group, v. 2, n. 1, p. 1–6, 2012.

- CYR, G. J. S.; FENDER, D. H. The interplay of drifts and flicks in binocular fixation. **Vision research**, Elsevier, v. 9, n. 2, p. 245–265, 1969.
- DITCHBURN, R. W.; GINSBORG, B. L. Involuntary eye movements during fixation. **The Journal of physiology**, Wiley-Blackwell, v. 119, n. 1, p. 1, 1953.
- EGAÑA, J. I.; DEVIA, C.; MAYOL, R.; PARRINI, J.; ORELLANA, G.; RUIZ, A.; MALDONADO, P. E. Small saccades and image complexity during free viewing of natural images in schizophrenia. **Frontiers in Psychiatry**, Frontiers Media SA, v. 4, p. 37, 2013.
- EHINGER, K. A.; HIDALGO-SOTELO, B.; TORRALBA, A.; OLIVA, A. Modelling search for people in 900 scenes: A combined source model of eye guidance. **Visual cognition**, Taylor & Francis, v. 17, n. 6-7, p. 945–978, 2009.
- EHRlich, S. F.; RAYNER, K. Contextual effects on word perception and eye movements during reading. **Journal of verbal learning and verbal behavior**, Elsevier, v. 20, n. 6, p. 641–655, 1981.
- ENGBERT, R. Microsaccades: A microcosm for research on oculomotor control, attention, and visual perception. **Progress in brain research**, Elsevier, v. 154, p. 177–192, 2006.
- ENGBERT, R.; KLIEGL, R. Binocular coordination in microsaccades. In: **The Mind's Eye**. [S. l.]: Elsevier, 2003. p. 103–117.
- ENGBERT, R.; KLIEGL, R. Microsaccades uncover the orientation of covert attention. **Vision research**, Elsevier, v. 43, n. 9, p. 1035–1045, 2003.
- ENGBERT, R.; KLIEGL, R. Microsaccades keep the eyes' balance during fixation. **Psychological science**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 15, n. 6, p. 431–431, 2004.
- ENGBERT, R.; MERGENTHALER, K. Microsaccades are triggered by low retinal image slip. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 103, n. 18, p. 7192–7197, 2006.
- ENGBERT, R.; MERGENTHALER, K.; SINN, P.; PIKOVSKY, A. An integrated model of fixational eye movements and microsaccades. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 108, n. 39, p. E765–E770, 2011.
- FERREIRA, D. S.; RAMALHO, G. L.; TORRES, D.; TOBIAS, A. H.; REZENDE, M. T.; MEDEIROS, F. N.; BIANCHI, A. G.; CARNEIRO, C. M.; USHIZIMA, D. M. Saliency-driven system models for cell analysis with deep learning. **Computer Methods and Programs in Biomedicine**, v. 182, p. 105053, 2019. ISSN 0169-2607.
- FORSTER, R. Aspectos da utilização do rastreamento ocular na pesquisa psicolinguística. **DELTA: documentos de estudos em linguística teórica e aplicada**, SciELO Brasil, v. 33, p. 609–644, 2017.
- GALFANO, G.; BETTA, E.; TURATTO, M. Inhibition of return in microsaccades. **Experimental Brain Research**, Springer, v. 159, n. 3, p. 400–404, 2004.
- GALLEY, N.; BETZ, D.; BINIOSSEK, C. Fixation durations-why are they so highly variable? **Das Ende von Rational Choice? Zur Leistungsfähigkeit der Rational-Choice-Theorie**, v. 93, p. 1–26, 2015.

- GHAOUI, C. **Encyclopedia of human computer interaction**. [S. l.]: IGI Global, 2005.
- GIBBONS, J. D.; CHAKRABORTI, S. **Nonparametric statistical inference**: revised and expanded. [S. l.]: CRC Press, 2014.
- GIJP, A. van der; RAVESLOOT, C. J.; JARODZKA, H.; SCHAAF, M. F. van der; SCHAAF, I. C. van der; SCHAIK, J. P. J. van; CATE, O. ten. How visual search relates to visual diagnostic performance : a narrative systematic review of eye-tracking research in radiology. **Advances in Health Sciences Education**, v. 22, n. 3, p. 765–787, 2017. ISSN 1382-4996.
- HAFED, Z. M.; KRAUZLIS, R. J. Similarity of superior colliculus involvement in microsaccade and saccade generation. **Journal of neurophysiology**, American Physiological Society Bethesda, MD, v. 107, n. 7, p. 1904–1916, 2012.
- HAREZLAK, K.; KASPROWSKI, P. Application of eye tracking in medicine: A survey, research issues and challenges. **Computerized Medical Imaging and Graphics**, v. 65, p. 176 – 190, 2018. ISSN 0895-6111. Advances in Biomedical Image Processing.
- HAUPERICH, A.-K.; YOUNG, L. K.; SMITHSON, H. E. What makes a microsaccade? a review of 70 years of research prompts a new detection method. **Journal of Eye Movement Research**, European Group for Eye Movement Research, v. 12, n. 6, 2019.
- HENDERSON, J. M.; PIERCE, G. L. Eye movements during scene viewing: Evidence for mixed control of fixation durations. **Psychonomic Bulletin & Review**, Springer, v. 15, p. 566–573, 2008.
- HERRMANN, C. J.; METZLER, R.; ENGBERT, R. A self-avoiding walk with neural delays as a model of fixational eye movements. **Scientific reports**, Nature Publishing Group, v. 7, n. 1, p. 1–17, 2017.
- HOROWITZ, T. S.; WOLFE, J. M. Visual search has no memory. **Nature**, Nature Publishing Group, v. 394, n. 6693, p. 575–577, 1998.
- HUEY, E. B. Preliminary experiments in the physiology and psychology of reading. **The American Journal of Psychology**, JSTOR, v. 9, n. 4, p. 575–586, 1898.
- HUEY, E. B. On the psychology and physiology of reading. i. **The American Journal of Psychology**, JSTOR, v. 11, n. 3, p. 283–302, 1900.
- HUEY, E. B. **The psychology and pedagogy of reading**. [S. l.]: Macmillan, 1908.
- JUDD, T.; EHINGER, K.; DURAND, F.; TORRALBA, A. Learning to predict where humans look. In: IEEE. **2009 IEEE 12th international conference on computer vision**. [S. l.], 2009. p. 2106–2113.
- JUHASZ, B. J.; WHITE, S. J.; LIVERSEDGE, S. P.; RAYNER, K. Eye movements and the use of parafoveal word length information in reading. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, American Psychological Association, v. 34, n. 6, p. 1560, 2008.
- KLIEGL, R.; GRABNER, E.; ROLFS, M.; ENGBERT, R. Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. **European Journal of Cognitive Psychology**, Routledge, v. 16, n. 1-2, p. 262–284, 2004.

- KO, H.-k.; POLETTI, M.; RUCCI, M. Microsaccades precisely relocate gaze in a high visual acuity task. **Nature neuroscience**, Nature Publishing Group, v. 13, n. 12, p. 1549–1553, 2010.
- KOOTSTRA, G.; BOER, B. de; SCHOMAKER, L. R. Predicting eye fixations on complex visual stimuli using local symmetry. **Cognitive computation**, Springer, v. 3, p. 223–240, 2011.
- KRAUSKOPF, J.; CORNSWEET, T.; RIGGS, L. Analysis of eye movements during monocular and binocular fixation. **JOSA**, Optica Publishing Group, v. 50, n. 6, p. 572–578, 1960.
- KULLBACK, S.; LEIBLER, R. A. On information and sufficiency. **The annals of mathematical statistics**, JSTOR, v. 22, n. 1, p. 79–86, 1951.
- LANGFORD, R. C. How people look at pictures, a study of the psychology of perception in art. Warwick & York, 1936.
- LEIGH, R. J.; ZEE, D. S. **The neurology of eye movements**. [S. l.]: Contemporary Neurology, 2015.
- LIANG, J.-R.; MOSHEL, S.; ZIVOTOFSKY, A. Z.; CASPI, A.; ENGBERT, R.; KLIEGL, R.; HAVLIN, S. Scaling of horizontal and vertical fixational eye movements. **Physical Review E**, APS, v. 71, n. 3, p. 031909, 2005.
- MAKIN, A. D.; POLIAKOFF, E.; EL-DEREDY, W. Tracking visible and occluded targets: Changes in event related potentials during motion extrapolation. **Neuropsychologia**, Elsevier, v. 47, n. 4, p. 1128–1137, 2009.
- MARTINEZ-CONDE, S.; MACKNIK, S. L.; HUBEL, D. H. The role of fixational eye movements in visual perception. **Nature reviews neuroscience**, Nature Publishing Group, v. 5, n. 3, p. 229–240, 2004.
- MITCHELL, J. F.; REYNOLDS, J. H.; MILLER, C. T. Active vision in marmosets: a model system for visual neuroscience. **Journal of Neuroscience**, Soc Neuroscience, v. 34, n. 4, p. 1183–1194, 2014.
- MOTULSKY, H.; CHRISTOPOULOS, A. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression: a practical guide to curve fitting. graphpad software. **Inc., San Diego, CA**, 2003.
- OTERO-MILLAN, J.; MACKNIK, S. L.; MARTINEZ-CONDE, S. Fixational eye movements and binocular vision. **Frontiers in integrative neuroscience**, Frontiers Media SA, v. 8, p. 52, 2014.
- OTERO-MILLAN, J.; TRONCOSO, X. G.; MACKNIK, S. L.; SERRANO-PEDRAZA, I.; MARTINEZ-CONDE, S. Saccades and microsaccades during visual fixation, exploration, and search: foundations for a common saccadic generator. **Journal of vision**, The Association for Research in Vision and Ophthalmology, v. 8, n. 14, p. 21–21, 2008.
- PETERSON, M. S.; KRAMER, A. F.; WANG, R. F.; IRWIN, D. E.; MCCARLEY, J. S. Visual search has memory. **Psychological Science**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 12, n. 4, p. 287–292, 2001.
- POLA, J.; WYATT, H. J. Offset dynamics of human smooth pursuit eye movements: effects of target presence and subject attention. **Vision research**, Elsevier, v. 37, n. 18, p. 2579–2595, 1997.

<https://pypi.org/project/fitter/0.2.0/>. Acesso em: 20 abr. 2023.

RAYNER, K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. **Psychological bulletin**, American Psychological Association, v. 124, n. 3, p. 372, 1998.

RAYNER, K.; DUFFY, S. A. Lexical complexity and fixation times in reading: Effects of word frequency, verb complexity, and lexical ambiguity. **Memory & cognition**, Springer, v. 14, n. 3, p. 191–201, 1986.

REICHLE, E. D.; POLLATSEK, A.; FISHER, D. L.; RAYNER, K. Toward a model of eye movement control in reading. **Psychological review**, American Psychological Association, v. 105, n. 1, p. 125, 1998.

RICHARDS, J. E.; CRONISE, K. Extended visual fixation in the early preschool years: Look duration, heart rate changes, and attentional inertia. **Child Development**, Wiley Online Library, v. 71, n. 3, p. 602–620, 2000.

RIGGS, L. A.; RATLIFF, F. Visual acuity and the normal tremor of the eyes. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 114, n. 2949, p. 17–18, 1951.

RIGGS, L. A.; RATLIFF, F.; CORNSWEET, J. C.; CORNSWEET, T. N. The disappearance of steadily fixated visual test objects. **JOSA**, Optica Publishing Group, v. 43, n. 6, p. 495–501, 1953.

ROLFS, M. Microsaccades: small steps on a long way. **Vision research**, Elsevier, v. 49, n. 20, p. 2415–2441, 2009.

ROLFS, M.; KLIEGL, R.; ENGBERT, R. Toward a model of microsaccade generation: The case of microsaccadic inhibition. **Journal of vision**, The Association for Research in Vision and Ophthalmology, v. 8, n. 11, p. 5–5, 2008.

SCHWARZ, G. Estimating the dimension of a model. **The annals of statistics**, JSTOR, p. 461–464, 1978.

SPARKS, D. L. The brainstem control of saccadic eye movements. **Nature Reviews Neuroscience**, Nature Publishing Group, v. 3, n. 12, p. 952–964, 2002.

SPAUSCHUS, A.; MARSDEN, J.; HALLIDAY, D. M.; ROSENBERG, J. R.; BROWN, P. The origin of ocular microtremor in man. **Experimental Brain Research**, Springer, v. 126, n. 4, p. 556–562, 1999.

TAGLIANI, M.; REDOLFI, M. Tracking eye movements as a window on language processing: The visual world paradigm. **Encyclopedia**, MDPI, v. 3, n. 1, p. 245–266, 2023.

TATLER, B. W.; WADE, N. J. On nystagmus, saccades, and fixations. **Perception**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 32, n. 2, p. 167–184, 2003.

TATLER, B. W.; WADE, N. J.; KWAN, H.; FINDLAY, J. M.; VELICHKOVSKY, B. M. Yabus, eye movements, and vision. **i-Perception**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 1, n. 1, p. 7–27, 2010.

TORRES, D.; SENA, W. R.; CARMONA, H. A.; MOREIRA, A. A.; MAKSE, H. A.; JR, J. S. A. Eye-tracking as a proxy for coherence and complexity of texts. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 16, n. 12, p. e0260236, 2021.

TREISMAN, A. The perception of features and objects. **Visual attention**, Oxford Univ. Press New York, v. 8, p. 26–54, 1998.

TREISMAN, A. M.; GELADE, G. A feature-integration theory of attention. **Cognitive psychology**, Elsevier, v. 12, n. 1, p. 97–136, 1980.

WADE, N. J. Pioneers of eye movement research. **i-Perception**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 1, n. 2, p. 33–68, 2010.

WU, C.-C.; WOLFE, J. M. Eye movements in medical image perception: A selective review of past, present and future. **Vision**, MDPI AG, v. 3, n. 2, p. 32, Jun 2019. ISSN 2411-5150.

ZUBER, B. L.; STARK, L.; COOK, G. Microsaccades and the velocity-amplitude relationship for saccadic eye movements. **Science**, American Association for the Advancement of Science, v. 150, n. 3702, p. 1459–1460, 1965.

APÊNDICE A – CONVOLUÇÃO APLICADA EM COMBINAÇÃO DE FUNÇÕES DISTRIBUIÇÃO

A convolução é um operador linear que aplicado sobre duas funções , f e g , resulta em uma terceira função h . As propriedades que esse operado possui é de comutatividade, associatividade e distribuição. Uma convolução contínua é definida da seguinte forma

$$h(x) = (f * g)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(y) \cdot g(x - y) dy. \quad (\text{A.0})$$

Admitindo um evento gerado a partir de um processo da adição de outros, isto é,

$$A = B_1 + B_2 + \dots + B_n,$$

podemos aplicar o operador convolução para analisá-lo. Se conhecemos a distribuição seguida por cada parte que o compõem, B , então é possível saber a distribuição seguida pelo evento final, A . Se B_1 segue uma distribuição f_1 , B_2 segue f_2 , e assim sucessivamente,

$$g_1(x) = (f_1 * f_2)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(y) \cdot f_2(x - y) dy, \quad (\text{A.-1})$$

$$g_2(x) = (g_1 * f_3)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g_1(y) \cdot f_3(x - y) dy, \quad (\text{A.-1})$$

até que por fim chegamos à distribuição final h de A .

$$h(x) = (g_{n-1} * f_n)(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g_{n-1}(y) \cdot f_n(x - y) dy. \quad (\text{A.-1})$$