

# ANÁLISE DO OLHAR HUMANO: estudos experimentais de rastreamento ocular para explicar padrões visuais em tarefas cognitivas

Rafael Nobre Orsi<sup>1</sup>, Carlos Eduardo Thomaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Processamento de Imagens - FEI  
São Bernardo do Campo, SP - Brasil

{rafael.orsi, cet}@fei.br

**Abstract.** *This thesis presents three experimental studies guided by a standard protocol for visual signal acquisition corresponding to human perception. The studies cover: analysis of visual patterns in reading tasks with stimuli that simulate conditions of visual stress; analysis of visual attention during the evaluation of facial expressions of pain in neonates; and analysis of pupil dilation during the perception of categorized emotional stimuli. The results show that it is possible to automatically classify visual reading patterns; that pain recognition in neonates occurs in less than 2 seconds; and that negative emotional stimuli can mobilize more brain processing resources than positive and neutral stimuli.*

**Resumo.** *Nesta tese são apresentados três estudos experimentais guiados por um protocolo padrão para aquisição de sinal visual correspondente à percepção humana. Os estudos abordam: análise de padrões visuais em tarefas de leitura com estímulos que simulam condições de estresse visual; análise da atenção visual durante a avaliação de expressões faciais de dor em neonatais; e análise da dilatação pupilar durante a percepção de estímulos emocionais categorizados. Os resultados mostram que é possível classificar automaticamente os padrões visuais de leitura; que o reconhecimento da dor em neonatais ocorre em menos de 2 segundos; e que estímulos emocionais negativos podem mobilizar mais recursos de processamento cerebral do que estímulos positivos e neutros.*

## 1. INTRODUÇÃO

Ao refletir sobre os nossos comportamentos involuntários é possível perceber o quão intrigante é a cognição humana. Muitas das nossas ações são planejadas e executadas de forma consciente, mas há uma relação entre a mente e o mundo ao nosso redor que, inconscientemente, faz nosso corpo trabalhar constantemente. Por exemplo, a atividade cerebral de uma pessoa com os olhos fechados é diferente da atividade cerebral quando os olhos estão abertos [Marx et al. 2004] e isso ocorre porque cerca de 70% das células sensitivas do corpo estão presentes nos olhos [Marieb et al. 2014] e porque a visão está associada a processos cognitivos que são excitados instantaneamente ao abrirmos os olhos [Romei et al. 2008].

As teorias comportamentais indicam que nossos hábitos geralmente são inconscientes, ainda que sejam iniciados de maneira voluntária. Por exemplo, quando temos um texto a nossa frente é muito comum começarmos a ler, mesmo que sem querer, pois,

trata-se de uma habilidade humana muito requerida para ter acesso à informação e, conseqüentemente, para o desenvolvimento de outras habilidades e conhecimentos [Solé 2015]. No entanto, o nosso conhecimento sobre como os olhos, em particular, capturam essas informações é menos estabelecido. Nós possuímos uma vaga ideia de que os olhos se movimentam da esquerda para a direita durante a leitura de textos em português, mas intuitivamente não sabemos dizer se fixamos o olhar em cada palavra, sílaba ou letra.

A complexidade deste problema aumenta à medida que incluímos outros estímulos sob a mesma perspectiva, pois normalmente não é possível explicar de forma específica e quantificada como reconhecemos expressões faciais de dor ou como a intensidade emocional de um estímulo visual afeta a nossa forma de pensar. Na verdade, pode-se dizer que a percepção visual é uma experiência subjetiva que não pode ser comparada se não for por meio de um processo de engenharia reversa, pois, embora a maioria das pessoas possa reconhecer o mesmo objeto, a percepção de luminosidade, tonalidades e texturas pode ser distinta de pessoa para pessoa [Cornsweet 2012]. Neste contexto, enquanto fazemos inferências de forma consciente, a aquisição da informação e algumas associações podem ocorrer de forma inconsciente, o que reforça a ideia de que observar os movimentos oculares pode ser uma abordagem promissora para obter parâmetros acerca da comunicação do ser humano com o meio ambiente.

Os primeiros estudos que utilizaram o rastreamento ocular já demonstravam ser um método válido para observar a alocação da atenção visual em tarefas cognitivas e, desde então, esse método tem sido amplamente adotado em experimentos que buscam compreender como o cérebro processa informações visuais [Duchowski 2017]. Em geral, trata-se de uma abordagem não invasiva que permite analisar uma sequência de padrões de olhar correspondentes a processos cognitivos subjacentes à atenção, aprendizado e memória que moldam a maneira como vemos o mundo. Por exemplo, ao olhar uma foto de um ambiente qualquer, como uma sala de aula, você terá uma ideia de como os móveis devem ser dispostos e se a cena não corresponder às suas expectativas, você provavelmente ficará surpreso e visualmente irá procurar obter outras informações enquanto sua “semântica de cena” é violada. Isso ocorre porque aquele ambiente talvez não confira com as suas regras de como uma sala de aula devia ser para você. Esse comportamento representa uma cascata de eventos que exemplifica o escopo geral desta tese, que é analisar os movimentos oculares de um sujeito após apresentar-lhe um estímulo visual que provoque reações fisiológicas impulsionadas por processos cognitivos.

Neste contexto, o objetivo principal desta tese era investigar as características dos movimentos oculares correspondentes a tarefas cognitivas provocadas por estímulos visuais. Mais especificamente, foram feitos experimentos uniformizados de rastreamento ocular para coletar sinal correspondente a operações cognitivas; análise dos padrões visuais durante tarefas de leitura e implementação de modelos estatísticos de classificação para reconhecer padrões de leitura automaticamente; análise da variação do diâmetro pupilar durante tarefas de reconhecimento de expressões faciais de dor em neonatos; e análise da variação do diâmetro pupilar durante a observação de estímulos emocionalmente categorizados.

## 2. ANÁLISE DE PADRÕES VISUAIS EM TAREFAS DE LEITURA

Neste estudo foi realizado um experimento perceptivo envolvendo a captura de sinais de movimento ocular a partir de simulações de distorções visuais frequentemente associadas ao estresse visual durante tarefas de leitura, como embaçamento das letras, sensação de texto borrado e desfocado. O objetivo principal deste experimento era entender melhor como é o padrão visual de leitura de indivíduos que possuem os sintomas de estresse visual, bem como analisar se existe diferença entre cada tipo de padrão visual gerado. Mais especificamente, foi desenvolvido um algoritmo para gerar estímulos artificiais que simulam computacionalmente distorções visuais percebidas por pessoas diagnosticadas com Síndrome de Irlen; foi realizado um experimento com rastreamento ocular utilizando essas distorções visuais simuladas com o propósito de coletar sinal visual correspondente; e foi implementado um arcabouço computacional para reconhecer os padrões visuais de leitura automaticamente.

Uma visão completa da concepção do projeto e aplicação do protocolo experimental pode ser vista no vídeo disponibilizado no link a seguir: <https://x.gd/pv0MC>

### 2.1. Resultados

Os resultados mostram que é possível classificar padrões de leitura e que quanto maior a quantidade de detalhes na amostra melhor é o desempenho do classificador. Ao comparar apenas os parâmetros de leitura, como, por exemplo, tempo de leitura, número de fixações, variação do diâmetro pupilar, entre outros; já é possível obter uma acurácia de 86,67%  $\pm$  11,84% para 4 parâmetros e 90,95%  $\pm$  5,70% para 16 parâmetros. Entretanto, o desempenho do classificador é substancialmente superior quando se utiliza o mapa de atenção visual, que contém os padrões de leitura formado pela movimentação dos olhos, atingindo uma precisão de classificação dos padrões de leitura de 99,52%  $\pm$  0,97%.

### 2.2. Discussão

Na literatura relacionada, a taxa de leitura é comumente utilizada como parâmetro para avaliar se um sujeito tem dificuldades de leitura e, conseqüentemente, avaliar o desempenho do leitor após algum tipo de tratamento [Miyasaka et al. 2019]. Neste estudo, apresentamos 8 novos parâmetros que podem ser usados para generalizar problemas de leitura, como a quantidade de fixações que pode indicar dificuldade no reconhecimento de palavras, a quantidade de regressões que pode indicar se o leitor repetiu a leitura da mesma palavra mais de uma vez, os desvios que são os movimentos oculares considerados irregulares, a direção angular fora do eixo vertical que pode explicar se o leitor perde o foco na leitura em torno de cada palavra, a localização espacial das palavras durante a leitura, e outros, disponíveis com mais detalhes na tese [Orsi 2023].

Em geral, o arcabouço de engenharia reversa para detectar padrões visuais de leitura, que foi implementado neste estudo, permite fazer comparações com padrões correspondentes a condições de estresse visual, podendo ajudar a diagnosticar problemas de leitura com evidências robustas para sustentar a necessidade de um tratamento e, conseqüentemente, avaliar a eficácia de possíveis tratamentos.

### 3. ANÁLISE DA ATENÇÃO VISUAL DURANTE A AVALIAÇÃO DE EXPRESSÕES FACIAIS DE DOR EM NEONATAIS

Neste estudo foi realizado um experimento de atenção visual envolvendo a captura de movimentos oculares durante uma tarefa de avaliação de dor em recém-nascidos. O objetivo principal era analisar a atenção visual humana durante o reconhecimento da dor e se tal inferência ocorre de forma mais rápida ou sem esforço mental ao comparar profissionais de saúde com outros adultos. Mais especificamente, foi realizado um experimento de rastreamento ocular utilizando como estímulo algumas expressões faciais com e sem dor para coletar sinal visual correspondente; foi feito o pré-processamento do sinal visual; e foi feita a análise das características do sinal pupilar.

Uma visão completa da concepção do projeto e aplicação do protocolo experimental pode ser vista no vídeo disponibilizado no link a seguir: <https://x.gd/ra3Tw>

#### 3.1. Resultados

Os resultados mostram que os especialistas classificaram corretamente os estímulos faciais com e sem expressão de dor com precisões médias de 96,59%(±5,27%) e 86,36%(±14,46%), respectivamente. Pais de recém-nascidos com 89,31%(±11,94%) e 85,17%(±15,65%), e não especialistas com 92,67%(±10,27%) e 72,00%(±28,67%). Os resultados da classificação geral entre especialistas e não especialistas foram estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) e houve diferenças estatisticamente significativas entre estímulos com e sem expressão de dor dentro dos grupos amostrais especialistas ( $p < 0,05$ ) e não especialistas ( $p < 0,05$ ).

Também foi observado que há maior dilatação pupilar nos sujeitos ao avaliar imagens faciais de recém-nascidos após um procedimento doloroso do que em repouso e que um tempo de exposição mínimo de 2 segundos é suficiente para fazermos uma inferência visual de dor. Neste contexto, a experiência sobre esse procedimento, seja profissional ou pessoal, aumenta a precisão dessa inferência, mas exige os mesmos 2 primeiros segundos de exposição aos estímulos faciais.

#### 3.2. Discussão

Os resultados de classificação de dor em imagens faciais frontais de recém-nascidos corroboram com os relatos da literatura [Balda et al. 2000], mostrando que os especialistas tiveram um desempenho tão bom quanto os pais e melhor do que os não especialistas. Entretanto, os dados do diâmetro pupilar revelam que uma curta exposição a uma expressão facial é suficiente para avaliar a presença ou ausência de dor em recém-nascidos.

Considerando que a dilatação da pupila está fortemente associada ao aumento da carga cognitiva [Kahneman 2011] e que tal carga de processamento de informações aconteceu essencialmente nos 2 primeiros segundos de exposição a estímulos faciais, sem diferenças estatísticas entre os grupos de amostras de sujeitos, os resultados deste estudo sugerem que o reconhecimento da expressão facial de dor em recém-nascidos pode ser caracterizado como uma tarefa rápida de atenção visual específica que não é guiada inteiramente pela experiência e não pode ser realizada sem esforço mental [Orsi et al. 2023]

## **4. ANÁLISE DA DILATAÇÃO PUPILAR DURANTE A PERCEPÇÃO DE ESTÍMULOS EMOCIONAIS CATEGORIZADOS**

Neste estudo foi realizado um experimento de atenção visual envolvendo a captura de movimentos oculares durante a exibição de estímulos emocionais. O objetivo principal era analisar as reações do sistema nervoso autônomo a estímulos emocionais por meio da mensuração do diâmetro pupilar. Mais especificamente, foi realizado um experimento de rastreamento ocular utilizando estímulo emocionalmente categorizados para coletar sinal visual correspondente; foi feito o pré-processamento do sinal visual; e foi feita a análise das características do sinal pupilar.

Uma visão completa da concepção do projeto e aplicação do protocolo experimental pode ser vista no vídeo disponibilizado no link a seguir: <https://x.gd/rQwD3>

### **4.1. Resultados**

Os resultados mostram que estímulos emocionais categorizados, mesmo que de média intensidade, provocam reações pupilares características e correspondentes. As evidências encontradas sugerem que a emoção modula o processamento cerebral e que é possível medir esse fenômeno monitorando o diâmetro pupilar. A percepção de estímulos emocionais negativos pode provocar uma resposta comportamental defensiva e inconsciente que mobiliza mais recursos de processamento cerebral do que estímulos neutros ou positivos. Neste contexto, o rastreamento ocular tem sido uma abordagem promissora para estudar o processamento cognitivo, podendo ser aplicado em diversas áreas, como psicologia, neurociência e tecnologia, para explicar os efeitos e reações comportamentais provocados por estimulação emocional.

### **4.2. Discussão**

Alguns estudos baseados na análise de imagens de ressonância magnética funcional mostram que a percepção de estímulos emocionais excita determinados circuitos neurais que mobilizam recursos de processamento cerebral com relativa vantagem competitiva em relação a estímulos neutros [Volchan et al. 2003] e que o processamento de estímulos afetivos é modulado por uma atenção seletiva natural [Schupp et al. 2003]. Isso pode justificar porque a amplitude da dilatação pupilar mensurada neste experimento foi relativamente maior durante a percepção de estímulos negativos. Neste caso, o aumento da carga de trabalho mental pode estar associado a uma resposta comportamental defensiva e inconsciente [Campbell et al. 1997], impulsionada pela emoção.

A hipótese de que a emoção modula os estágios iniciais e finais de processamento visual [Lane et al. 1999] são mais evidentes quando é comparada a dilatação pupilar entre os três tipos de estímulos, pois se considerarmos os estímulos neutros como controle, há um aumento na carga de trabalho mental para os estímulos negativos, mas há uma redução na carga de trabalho mental para os estímulos positivos. Hipoteticamente, os estímulos positivos não produzem nenhuma resposta inconsciente de defesa e, portanto, mobilizam menos recursos de processamento cerebral.

Considerando que neste experimento os sujeitos apenas contemplaram os estímulos visuais sem ser requerido a eles qualquer tipo de análise e que há uma diferença estatisticamente significativa na variação do diâmetro pupilar entre cada estímulo emocional, pode-se dizer que os resultados encontrados suportam a hipótese de que estímulos

emocionais provocam respostas comportamentais correspondentes e que é possível detectar o aumento da carga de trabalho mental por meio da mensuração do diâmetro pupilar.

## Referências

- Balda, R. d. C. X., Guinsburg, R., de Almeida, M. F. B., de Araújo Peres, C., Miyoshi, M. H., and Kopelman, B. I. (2000). The recognition of facial expression of pain in full-term newborns by parents and health professionals. *Archives of pediatrics & adolescent medicine*, 154(10):1009–1016.
- Campbell, B. A., Wood, G., and McBride, T. (1997). Origins of orienting and defensive responses: An evolutionary perspective. *Attention and orienting: Sensory and motivational processes*, pages 41–67.
- Cornsweet, T. (2012). *Visual perception*. Academic press.
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology*. Springer.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux, New York.
- Lane, R. D., Chua, P. M., and Dolan, R. J. (1999). Common effects of emotional valence, arousal and attention on neural activation during visual processing of pictures. *Neuropsychologia*, 37(9):989–997.
- Marieb, E. N., Wilhelm, P. B., and Mallat, J. (2014). *Anatomia humana*. Pearson Education do Brasil, São Paulo, 7 edition.
- Marx, E., Deutschländer, A., Stephan, T., Dieterich, M., Wiesmann, M., and Brandt, T. (2004). Eyes open and eyes closed as rest conditions: impact on brain activation patterns. *Neuroimage*, 21(4):1818–1824.
- Miyasaka, J. D. S., Vieira, R. V. G., Novalo-Goto, E. S., Montagna, E., and Wajnsztein, R. (2019). Irlen syndrome: systematic review and level of evidence analysis. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 77(3):194–207.
- Orsi, R. (2023). Análise do olhar humano: estudos experimentais de rastreamento o ocular para explicar padrões visual em tarefas cognitivas.
- Orsi, R. N., Carlini, L. P., Heiderich, T. M., da Silva, G. V. T., Soares, J. d. C. A., Balda, R. d. C. X., Barros, M. C. d. M., Guinsburg, R., and Thomaz, C. E. (2023). Visual attention during neonatal pain assessment: A 2-s exposure to a facial expression is sufficient. *Electronics Letters*, 59(6):e12756.
- Romei, V., Rihs, T., Brodbeck, V., and Thut, G. (2008). Resting electroencephalogram alpha-power over posterior sites indexes baseline visual cortex excitability. *Neuroreport*, 19(2):203–208.
- Schupp, H. T., Markus, J., Weike, A. I., and Hamm, A. O. (2003). Emotional facilitation of sensory processing in the visual cortex. *Psychological science*, 14(1):7–13.
- Solé, I. (2015). *Estratégias de Leitura-6*. Penso Editora.
- Volchan, E., Pereira, M. G., Oliveira, L. d., Vargas, C., Mourão-Miranda, J., Azevedo, T. M. d., Machado-Pinheiro, W., and Pessoa, L. (2003). Estímulos emocionais: processamento sensorial e respostas motoras. *Brazilian Journal of Psychiatry*, 25:29–32.