

Contagem e Cognição Numérica: Experimentos com *Eye-Tracking*

D. A. Dal Fabbro, C. E. Thomaz

Centro Universitário da FEI, Brazil
ddfabbro@fei.edu.br cet@fei.edu.br

Abstract. This work investigates a cognitive approach to the mechanisms used by humans to perform enumeration of non-symbolic quantities by measuring the reaction time and eye-tracking fixations of human volunteers. Using the eye-tracking technology, it has been shown that the way we perceive a certain amount is strongly related to our reaction time and our visual perception varies for quantities up to five and higher than six. We believe that such detailed exploratory data analysis can be used for other data mining processes, disclosing the human perception of visual patterns.

Categories and Subject Descriptors: H.1.2 [Models and Principles]: User/Machine Systems—*Human information processing*; J.4 [Social and Behavioral Sciences]; H.2.8 [Database Management]: Database Applications—*Data mining*

Keywords: data mining, enumeration, eye-tracking

1. INTRODUÇÃO

Quando temos a nossa frente quarenta moedas de mesmo valor é evidente que fazemos uso da aritmética para concluirmos com precisão que realmente são quarenta moedas que estão ali. Esta aritmética pode ser feita pela soma unitária de cada moeda ou pela divisão de pequenos conjuntos cujas quantidades já são conhecidas para posteriormente somá-las. Qualquer que seja a técnica escolhida, não deixamos de recorrer ao uso da matemática.

Além do homem, outros seres vivos também são capazes de notar que existem quantidades diferentes entre dois conjuntos de objetos [Capaldi 1993]. Este foi o primeiro indício de que podemos fazer contagem sem conhecer aritmética.

No entanto, esta contagem feita por outros seres é meramente comparativa, ou seja, é uma forma de distinguir a quantidade entre dois conjuntos sem conhecer a quantidade exata de cada um. Para o indivíduo ser capaz de reconhecer o número presente em um conjunto é necessário que seja atribuído um símbolo ou nomenclatura àquela quantidade [Warren 1897; Campbell 1992]. Isto possibilitará que ela possa ser discriminada.

No século XX, um estudo sobre a percepção humana durante a interpretação de cenas complexas [Yarbus 1967] popularizou uma ferramenta com vasta aplicações em questões cognitivas, o *eye-tracking*. Este equipamento busca rastrear com precisão os movimentos oculares feitos pelo homem, facilitando novas descobertas e o entendimento da função que nossa visão exerce em atividades cognitivas, como uma contagem básica. Em 1984, foi publicado um estudo que utilizou este equipamento para estudar os padrões visuais gerados durante a contagem de quantidades unidimensionais (pontos) entre 19 e 23 quando dividida em grupos menores, comprovando que o olhar procura e conta por conjuntos de pontos, ao invés de individualmente [Van Oeffelen and Vos 1984].

Com o avanço da tecnologia, particularmente a eletrônica, o *eye-tracking* foi modernizado, gerando novos estudos que resgataram as questões levantadas por pesquisadores passados para experimental-

Este projeto foi parcialmente financiado pela CAPES e pelo CNPq (444964/2014-2).

mente entender a influência das quantidades quanto à frequência dos movimentos dos olhos [Watson et al. 2007], além de mostrar que o número de fixações oculares durante a contagem de quantidades a partir de cinco é altamente linear [Li et al. 2010]. Porém, até hoje não foi publicado um trabalho que investigasse os mecanismos de contagem de forma tão conclusiva utilizando experimentos de *eye-tracking*.

Este trabalho realiza o levantamento das informações do tempo de reação a partir da atividade visual que o indivíduo gera durante a contagem e um entendimento da percepção das quantidades com a forma em que esses estímulos são apresentados. Para coletar os dados das amostras, além de utilizar o tempo cronometrado para se fazer a contagem, também será analisado para onde o olhar é fixado, de forma que seja possível detectar padrões na maneira que olhamos durante a contagem, bem como sob a perspectiva da situação a que somos submetidos.

As demais seções podem ser assim resumidas. Na seção 2 são descritos os mecanismos de contagem existentes e um breve histórico sobre a evolução científica nesta área. Na seção 3 são detalhados os recursos utilizados durante o desenvolvimento do trabalho, bem como o procedimento experimental e os critérios de seleção dos dados. A seção 4 é uma extensa análise exploratória dos dados coletados em busca de relações entre os mecanismos estudados. Por fim, na última seção, o trabalho é concluído evidenciando o equipamento de *eye-tracking* como uma ferramenta de *data mining* em imagens que contém informações implícitas e as suas possíveis aplicações em domínios mais complexos.

2. MECANISMOS DE CONTAGEM

Os primeiros estudos sobre a forma que as pessoas fazem contagem sugeriram que possuímos dois principais métodos que são recorridos para situações distintas: a contagem comum e a contagem inferencial. No primeiro tipo, a discriminação é rápida, precisa e feita instantaneamente para pequenos grupos (perceptiva) ou pela aritmética de unidades para grupos maiores (progressiva). Já o segundo método é feito pela aproximação da quantidade baseada em padrões conhecidos e convenientes [Warren 1897].

Em 1949, foi publicado um estudo mostrando que até uma quantidade específica (geralmente quatro), um indivíduo com conhecimentos em algum sistema numérico consegue intuitivamente acusar a quantidade de objetos de determinado conjunto com precisão e sem necessariamente contá-los [Kaufman et al. 1949]. Esta técnica foi denominada pelo autor de *subitizing*¹, é inerente a todos nós e pode ser a explicação para a capacidade cognitiva de outros animais também saberem fazer comparações entre quantidades, mesmo que até um número limitado.

Através do *subitizing* é possível discriminar a quantidade de pequenos números quase instantaneamente, porém para quantidades superiores, este método é inconscientemente descartado e passamos a fazer a contagem de forma progressiva ou inferencial. Quando estes mecanismos de contagem são ativados, o tempo de reação para discriminação da quantidade é elevado consideravelmente, e isto pode ser notado facilmente na Figura 1 com dados levantados experimentalmente em trabalhos anteriores [Campbell 1992].

Uma suposta explicação para o *subitizing* ser tão rápido é que relacionamos os indivíduos a serem contados com a forma geométrica formada por eles [Akin and Chase 1978]. Por exemplo: quando temos a nossa frente três moedas, visualmente recordaremos de um triângulo. Já quando temos quatro moedas a nossa frente, na maioria dos casos irá assemelhar-se a um quadrado.

Em casos muito específicos, podemos recorrer ao *subitizing* para quantidades superiores a quatro. Um experimento comprovou que se a disposição dos indivíduos estiver organizada em padrões (homogênea), ainda somos capazes de contá-los de maneira muito rápida [Frick 1987], como por exemplo

¹Etm. do latim *subitus*

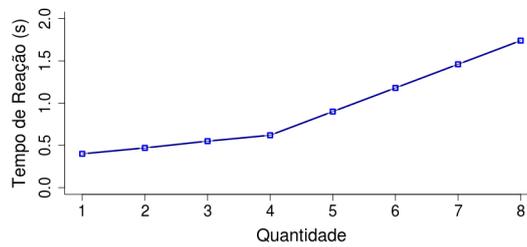


Fig. 1. Tempo de reação para contagem de quantidades inteiras.

o número seis representado pela face de um dado, ou até mesmo a quantidade nove disposta em um teclado numérico. Portanto a forma como apresentamos os objetos tem grande influência nos resultados.

3. MATERIAIS

3.1 Participantes

A amostragem utilizada consiste em 18 voluntários adultos (14 homens e 4 mulheres) com idades entre 20 e 50 anos. Todos os participantes possuem vínculos com a instituição de ensino onde foi realizado este trabalho e são alunos da graduação e pós-graduação de Engenharia, ou funcionários e professores. Nenhum dos participantes apresenta problemas de visão não corrigido e todos demonstram conhecimentos básicos em aritmética.

3.2 Procedimento Experimental

Este trabalho, além de medir o tempo de reação dos pontos de interesse durante a contagem, também faz uma comparação para diferentes maneiras de se organizar o mesmo número de moedas. Portanto, o experimento foi dividido em duas situações.

A primeira situação apresenta ao voluntário moedas com quantidades que variam entre um e quinze em momentos distintos. A distribuição dessas moedas é heterogênea, ou seja, não apresentam regra ou sentido em sua disposição. Além disso, a ordem que as distribuições são apresentadas deve ser aleatória para não induzir o indivíduo a nenhum valor.

A segunda situação apresenta as moedas de forma homogênea, ou seja, com disposições geométricas uniformes. Nesta situação, apenas as quantidades cinco, seis, sete, nove, doze e quinze são analisadas, uma vez que padrões não têm grande influência em quantidades inferiores a quatro e as demais quantidades não podem ser dispostas em padrões triviais.

Outro ponto a ser considerado é que, durante o experimento, não há distinção entre qual situação o indivíduo está submetido. Ou seja, as duas situações estão contidas na mesma sequência de experimentos.

O primeiro contato do voluntário com o experimento apresenta uma tela com as instruções para que não exista dúvida durante as medições. Antes de iniciar o experimento, uma prévia com uma quantidade aleatória é apresentada para ter certeza de que as regras expostas durante as instruções foram devidamente seguidas. As transições entre cada quantidade são constituídas por uma tela preta, de duração de 1 segundo, e têm como objetivo garantir o relaxamento do foco ocular.

Por fim, o experimento permite ao usuário determinar o número de moedas sem nenhuma restrição

de tempo, mas somente é possível realizar contagem visualmente, sem o uso das mãos ou outros artifícios.

3.3 Equipamento

Para avaliar os resultados cognitivos do experimento, bem como o tempo de reação, um equipamento de *eye-tracking* foi utilizado. Este equipamento é projetado pela Tobii, modelo TX300 e consiste em um monitor TFT de 23" com sensores infravermelho acoplados na parte inferior do monitor. A taxa de amostragem dos movimentos oculares foi de 300Hz com uma duração mínima de fixação de 60ms e um limiar de 0,5 ° de máxima dispersão. Estes parâmetros são considerados como padrões em pesquisas cognitivas com *eye-tracking* [Tobii 2012]. Durante o experimento um teclado padrão foi utilizado pelos voluntários para controlar a sequência de estímulos visuais. A calibração e o processamentos dos dados foram realizados pelo *software* da Tobii, instalado na plataforma Windows 7, processador Core i7 e 16Gb de RAM.

3.4 Processamento dos dados

Após a realização dos experimentos, os dados capturados durante a atividade ocular foram armazenados e tratados pelo *software* Tobii Studio, que permite a elaboração de mapas de calor com as principais áreas de interesse e exportação desses dados no formato de arquivo ".csv" (*comma separated values*). O raio de visão considerado no mapa de calor foi de 85 *pixels* para todos os mapas. O critério para geração do mapa de calor é relativo ao tempo total de análise da imagem e uma fixação só será considerada pelo equipamento caso o participante foque por mais tempo que a duração mínima de fixação, que é 60ms [Tobii 2012], caso contrário, ela será descartada.

Para iniciar a análise gráfica, 3 das 21 amostras foram descartadas pois para alguns testes o equipamento não foi capaz de rastrear o movimento ocular do voluntário, resultando em um tempo de reação igual a zero.

4. RESULTADOS

A taxa de acerto das quantidades informadas pelos voluntários é de 94,74% ($\pm 6.49\%$).

Apesar do experimento se basear em apenas 18 amostras, é possível detectar uma clara tendência nos resultados do tempo de reação para quantidades de 1 até 15 distribuídas de forma heterogênea, assim como comportamentos padronizados para as distribuições homogêneas.

A Figura 2 mostra um gráfico no formato *box-plot*, que possibilita evidenciar a mediana, os *outliers* e suas respectivas variâncias para cada quantidade. É possível notar que para quantidades até cinco a mediana do tempo de reação não possui grande diferença. Já a partir de seis moedas tanto uma mediana crescente, quanto uma variação maior entre as quantidades, podem ser observadas, comprovando assim o gráfico levantado por experimentos de outros autores.

Para as quantidades quatorze e quinze a variância das medições é notavelmente maior do que as anteriores. Uma possível explicação seria o mecanismo de aritmética utilizado por cada participante. Foi observado que para grandes quantidades, os voluntários contavam em grupos de dois ou em grupos de cinco e só é possível evidenciar a eficiência de cada um desses métodos quando testadas para grandes quantidades. Outra explicação encontrada é que para grandes quantidades, o voluntário poderia se confundir durante a contagem e ter de começar novamente.

O resultado cognitivo do experimento é analisado nas Figuras 3 e 4 no formato de mapa de calor, onde as regiões em vermelho são os pontos que os participantes focaram por mais tempo.

Como era de se esperar, as quantidades até cinco distribuídas de forma heterogênea possuem pontos de interesse concentradas na região central da imagem. Para quantidades acima desse valor, as regiões

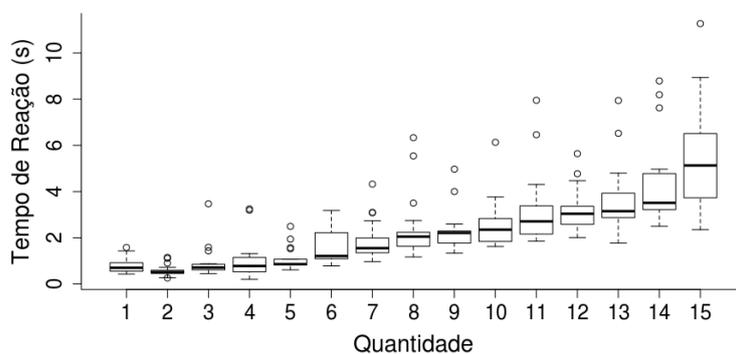


Fig. 2. Tempo de reação para contagem de distribuições heterogêneas.

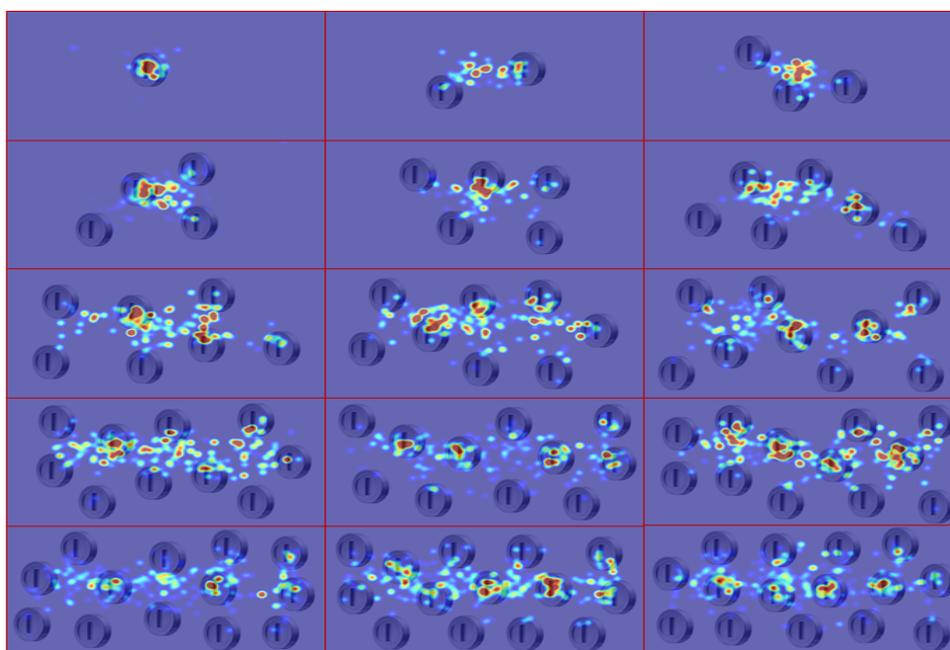


Fig. 3. Resultado cognitivo para contagem em distribuições heterogêneas.

de interesse começam a ficar dispersas. Isto significa que para estas quantidades é necessário que o olhar percorra a imagem para se ter consciência do número de moedas, o que pode revelar que um processo de aritmética é recorrido.

Para as moedas distribuídas de forma homogênea, a dispersão das regiões de interesse dos voluntários é menor, o que supostamente demonstra que a percepção sobre a mesma quantidade de moedas é diferente.

Por fim, para notar uma evidente diferença entre os dois tipos de distribuições, um gráfico no formato *box-plot* é analisado na Figura 5, comprovando a discrepância entre o tempo de reação para cada situação.

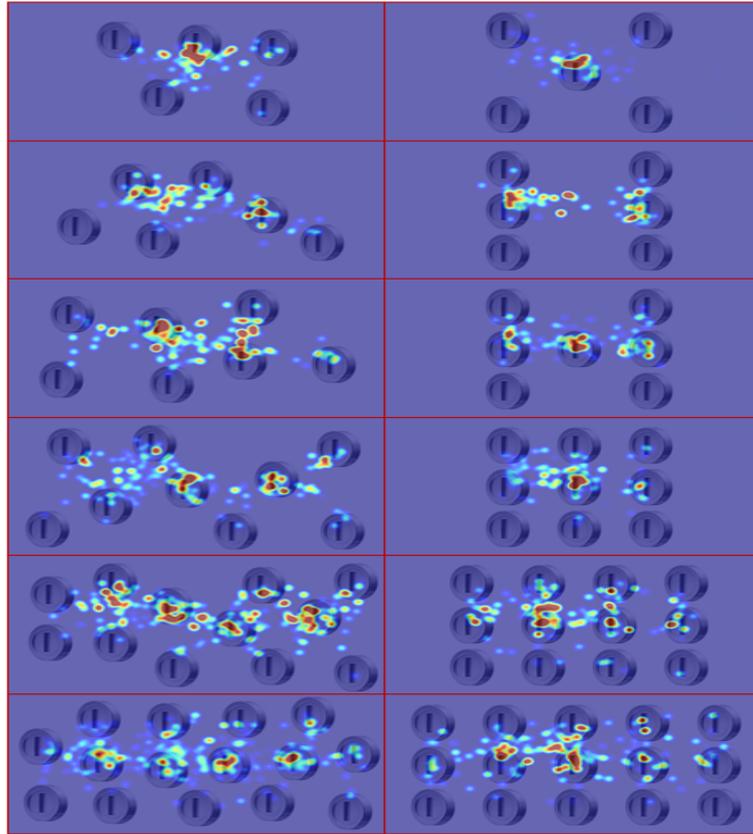


Fig. 4. Comparação entre o resultado cognitivo para contagem em distribuições heterogêneas (esquerda) e distribuições homogêneas (direita).

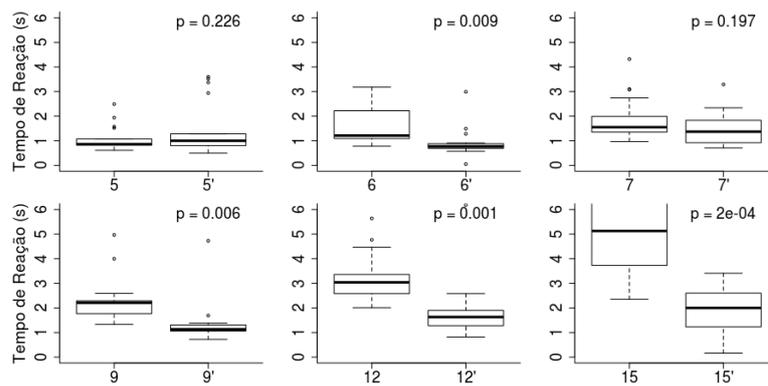


Fig. 5. Comparação de tempos de reação para distribuição heterogênea (x) e homogênea (x').

4.1 Relação com o número de fixações

Uma outra forma para analisar os dados é pelo número de fixações que os voluntários fazem durante a contagem, ou seja, quantas vezes precisam mudar o foco ocular. A Figura 6 mostra o *box-plot* do levantamento do número de fixações realizadas para cada quantidade com distribuição heterogênea.

Este gráfico apresenta comportamento similar ao gráfico para o tempo de reação, ilustrando uma forte relação entre as duas variáveis. Isto significa que o número de fixações cresceu proporcionalmente ao tempo de reação.

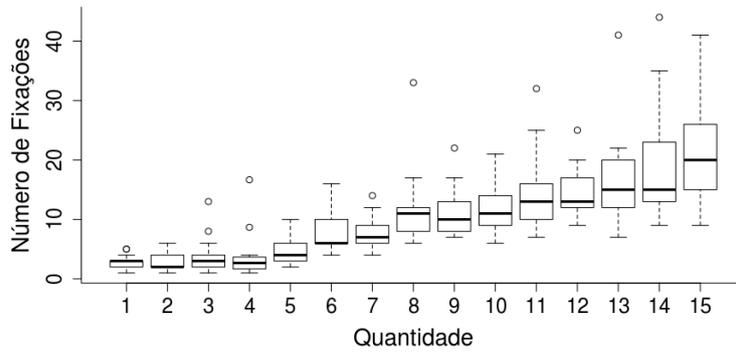


Fig. 6. Número de fixações para contagem de distribuições heterogêneas.

A Figura 7 mostra a comparação entre o número de fixações para distribuições heterogêneas e distribuições homogêneas para diferentes quantidades com aspectos muito similares aos analisados para os tempos de reação, reforçando ainda mais o resultado de que uma correlação entre o tempo de reação e o número de fixações existe.

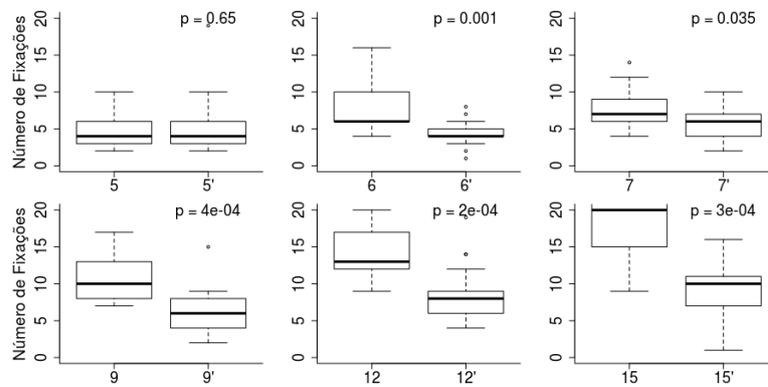


Fig. 7. Comparação de número de fixações para distribuição heterogênea (x) e homogênea (x').

Por fim, esta relação entre tempo de reação e número de fixações fica completamente clara quando as duas variáveis são analisadas em um mesmo gráfico. A Figura 8 mostra esta correlação para distribuições heterogêneas e homogêneas separadamente e nota-se que, independentemente do padrão da distribuição, a correlação é estatisticamente significativa.

5. DISCUSSÃO

Com este experimento, levantamos o gráfico que relaciona o tempo de reação de contagem para diferentes quantidades, comprovando os dados de trabalhos anteriores. Além disso, relacionamos estes tempos com a cognição numérica e visual para diferentes quantidades e, através dos resultados,

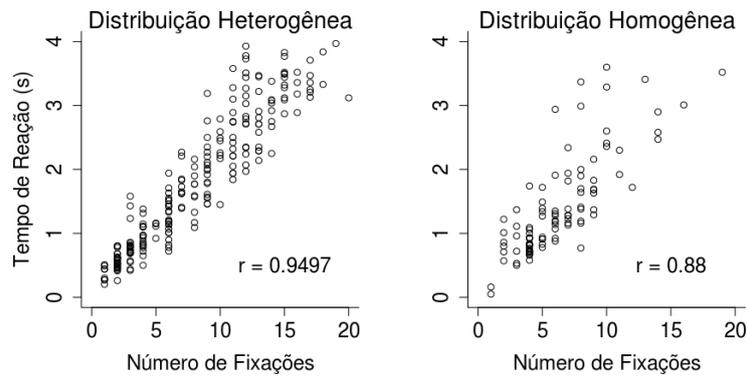


Fig. 8. Relação entre o número de fixações e o tempo de reação em distribuições heterogêneas e homogêneas.

mostramos que o tempo de reação dos voluntários está fortemente relacionado à nossa percepção de quantidades.

Esta percepção pode variar conforme estas quantidades são organizadas. A organização das quantidades em distribuições homogêneas nos possibilita relacioná-las com padrões já conhecidos ou até mesmo utilizar técnicas mais avançadas, como a multiplicação. Por conta disso, em alguns casos, o tempo para contagem de grandes quantidades pôde ser reduzido a tempos próximos aos observados para quantidades onde o *subitizing* é naturalmente recorrido, indicando que esta técnica é possivelmente um processo cognitivo inconsciente, que acontece baseado em experiências anteriores ou mesmo intuitivamente, o que conseqüentemente caracteriza uma forma de conhecimento implícito.

Acreditamos que este é o primeiro trabalho na literatura que aborda a questão do *subitizing* usando experimentos de *eye-tracking* de forma tão conclusiva e, que a questão da contagem estudada neste trabalho, mostra que o *eye-tracking* pode trazer uma nova abordagem para descoberta de conhecimento com aplicações em outras áreas da ciência, especialmente em problemas onde existe conhecimento implícito pela análise visual de um especialista sobre o domínio, como segmentação de imagens, recomendação de produtos, navegação de robôs, análise de imagens médicas, reconhecimento de faces, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AKIN, O. AND CHASE, W. Quantification of three-dimensional structures. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* vol. 4, 1978.
- CAMPBELL, J. I. *The nature and origin of mathematical skills*. Vol. 91. Elsevier, 1992.
- CAPALDI, E. J. Animal number abilities: Implications for a hierarchical approach to instrumental learning. *The development of numerical competence: Animal and human models*, 1993.
- FRICK, R. W. The homogeneity effect in counting. *Perception & Psychophysics* vol. 41, 1987.
- KAUFMAN, E. L., LORD, M. W., REESE, T. W., AND VOLKMANN, J. The discrimination of visual number. *The American journal of psychology* vol. 62, 1949.
- LI, X., LOGAN, G. D., AND ZBRODOFF, N. J. Where do we look when we count? the role of eye movements in enumeration. *Attention, Perception, & Psychophysics* 72 (2): 409–426, 2010.
- TOBII, T. User manual - tobii studio. *Manual Version 3.2 Rev A*, 2012.
- VAN OEFFELEN, M. P. AND VOS, P. G. Enumeration of dots: An eye movement analysis. *Memory & Cognition* 12 (6): 607–612, 1984.
- WARREN, H. The reaction time of counting. *Psychological Review* vol. 4, 1897.
- WATSON, D. G., MAYLOR, E. A., AND BRUCE, L. A. The role of eye movements in subitizing and counting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 33 (6): 1389, 2007.
- YARBUS, A. L. *Eye Movements and Vision*. Springer, 1967.