

DESENVOLVIMENTO DA COGNIÇÃO NUMÉRICA: UMA RELAÇÃO ENTRE CÉREBRO E CULTURA

*Joana Castelo-Branco & Alexandre Castro-Caldas**

Resumo: Nos últimos anos temos assistido a um interesse crescente pela área da cognição numérica, com investigação que tem procurado cobrir os seus vários níveis de descrição, desde as origens evolutivas, passando pelo desenvolvimento ontogenético e as diferenças individuais, até aos correlatos neurais do processamento numérico. Nesta revisão selecionámos os estudos mais significativos para nos ajudarem a compreender a evolução da representação do número e como a experiência vai estimulando o cérebro a criar novos suportes para uma informação que parece ser cada vez mais relevante.

“O que é o número para que o homem o possa conhecer?
E o que é o homem para que possa conhecer o número?”

McCulloch, 1965

Os números intervêm em diversas situações do nosso dia-a-dia. Sem os números não podíamos contar quantas coisas temos, nem fazer medições, não sabíamos ver as horas nem ler um calendário, era impossível usar o dinheiro para comprar ou vender e muito difícil ordenar as páginas de um livro. Hoje parece-nos que precisamos dos números para tudo e eles traduzem uma boa parte da nossa cultura, mas durante milhares de anos não foi assim. Como é que adquirimos este conhecimento? Como é que representamos mentalmente a ideia de número? Qual a origem destas representações e como é que se desenvolvem? São um exclusivo dos seres humanos? Porque é que associamos símbolos a quantidades? E como é que o nosso cérebro processa toda esta informação? Haverá estruturas específicas para essa função?

Este tipo de questões tem alimentado a área da “Cognição Numérica” que, com o avanço das neurociências, se expandiu significativa-

* Centro de Investigação Interdisciplinar em Saúde – Universidade Católica Portuguesa

mente nos últimos anos, procurando compreender as bases neurais do processamento do número.

Neste artigo vamos fazer uma apresentação sumária do estado da arte relativamente à ontogénese das representações numéricas, procurando mostrar como a aquisição dos símbolos numéricos permite à criança expandir o seu potencial cognitivo e biológico que lhe permitirá mais tarde formar ideias tão abstratas como a de infinito.

DIFERENTES TIPOS DE REPRESENTAÇÃO PARA OS NÚMEROS

O modelo do triplo código (Dehaene, 1992; Dehaene e Cohen, 1995) propõe uma relação entre função e estrutura do cérebro para o processamento dos números, sugerindo três formas de os representar: um código árabe visual, que utiliza os algarismos que aprendemos formalmente para contar e calcular de forma exata (e.g. 3); um código verbal, que utiliza sequências de palavras organizadas sintaticamente, sendo muito importante na recuperação de factos numéricos, como as tabuadas (e.g. três); e um código analógico de magnitude, o aspeto semântico e intuitivo do número, que pode ser conceptualizado como um *continuum* de grandeza análoga à quantidade a representar e que permite a comparação de quantidades e o cálculo aproximado (e.g.---).

Ao contrário dos códigos numérico e verbal, exclusivamente humanos e fortemente influenciados pela cultura, o código de magnitude tem sido considerado como um precursor do processamento numérico e partilhado com bebés muito jovens e outros animais (eg. Cantlon & Brannon, 2006). Neste artigo vamos considerar este *sistema aproximado de quantidade* como equivalente aos termos *sentido do número* (Dehaene, 1997), ou *numerosidade* (Butterworth, 1999).

Baseando-se inicialmente no estudo de pacientes com lesões cerebrais e, mais recentemente, em estudos de neuroimagem funcional realizados em adultos, Dehaene e a sua equipa enfatizaram o papel do lobo parietal no processamento numérico, propondo a existência de três circuitos associados aos três modos de representação: as regiões bilaterais dos lobos parietais póstero-superiores para o código visual; as áreas do córtex angular esquerdo para o código verbal; e as regiões bilaterais do sulco intraparietal para o código de magnitude (Dehaene, Piazza, Pinel & Cohen, 2003). Este modelo prevê tanto um funcionamento independente como uma constante complementaridade entre as diferentes for-

mas de representação numérica e as subjacentes estruturas neurais que vão sendo recrutadas em função da natureza dos problemas colocados.

COMPETÊNCIAS NUMÉRICAS PRECOCES

A descoberta de que os bebês eram capazes de detetar diferenças de magnitude entre dois conjuntos de elementos foi um dos grandes argumentos utilizados para demonstrar que Piaget tinha subestimado as competências cognitivas das crianças, nomeadamente no domínio do número (Piaget & Szeminska, 1941). Diversos estudos comportamentais mostram claramente que os bebês são capazes de distinguir entre quantidades diferentes, são sensíveis a relações de ordem e a operações como a adição e a subtração. Na sua maioria, estes estudos utilizam um paradigma de habituação/deshabituação uma vez que os bebês dão facilmente atenção a estímulos novos que depois de conhecidos perdem a capacidade de captar a sua atenção. Assim, se for apresentado um estímulo novo capta-se novamente a atenção do bebê e, através da alteração do tempo de fixação do olhar pode-se inferir o reconhecimento de novos estímulos.

Por exemplo, Antell & Keating (1983) verificaram que os bebês recém-nascidos eram capazes de discriminar entre duas quantidades diferentes. Primeiro mostraram um conjunto de pontos (por exemplo 3) até que os bebês se desinteressassem desse estímulo e depois, no ensaio de deshabituação, mostravam numa ordem aleatória, ora o mesmo, ora outro conjunto de pontos (por exemplo 2). Verificaram que os bebês voltavam a mostrar interesse por olhar para o novo estímulo, mas não para o utilizado nos ensaios de habituação. Inferiram assim que, pouco depois de nascerem, os bebês são capazes de distinguir entre pequenas quantidades como 2 *vs.* 3, mas não 4 *vs.* 6.

O mesmo tipo de paradigma foi usado para demonstrar que antes de completarem um ano os bebês são capazes de discriminar relações “maior que” de “menor que” (Cooper, 1984) e sequências ascendentes de descendentes (Brannon, 2002).

Também se verificou que os bebês manifestam desde cedo uma preferência pela congruência de estímulos apresentados em diferentes modalidades sensoriais (por exemplo, olhar para um écran com 2 pontos enquanto se ouvem 2 batidas), o que foi interpretado como evidência de uma representação multissensorial e intermodal do número (Starkey, Spelke & Gelman, 1980; Jordan & Branon, 2006; Izard, Sann, Spelke & Streri, 2009).

O estudo de Wynn (1992) ficou célebre por mostrar que os bebés de 5 meses eram capazes de realizar operações numéricas simples. Na condição adição, Wynn mostrou primeiro uma espécie de palco vazio, depois o bebé via entrar uma mão com um boneco. Entretanto, subia um écran que tapava a cena e o bebé via aparecer uma mão com um segundo boneco, saindo vazia. Num quinto momento, o écran baixava e o bebé era confrontado com um de dois resultados: o possível, quando apareciam dois bonecos ($1+1=2$); ou o impossível, quando aparecia apenas um ($1+1=1$). Para a condição subtração o procedimento foi equivalente, utilizando-se inicialmente dois bonecos e retirando-se um. Assim, o resultado possível era um boneco ($2-1=1$) e o impossível, dois bonecos ($2-1=2$). Em ambas condições verificou-se que o tempo do olhar para os resultados impossíveis era significativamente superior ao dedicado aos resultados possíveis. Contudo, Simon, Hespos & Rochat (1994) argumentaram que estes resultados podiam ser explicados com base na violação dos conhecimentos sobre o mundo físico e não a partir de competências aritméticas precoces. De facto, o desaparecimento de um boneco que anteriormente estava presente (ou o aparecimento, na condição subtração) podia ser suficiente para causar surpresa e, por isso, maior tempo de olhar nos resultados impossíveis. Então, estes autores replicaram a experiência, alterando não só o resultado aritmético como também a identidade do estímulo (uma personagem diferente). Comparando o tempo de olhar nas várias violações de expectativa, verificaram ainda assim que os bebés olhavam mais para os acontecimentos aritmeticamente impossíveis. Mesmo fazendo uma interpretação cautelosa destes resultados, não puderam deixar de considerar que os bebés se mostraram sensíveis ao sentido das operações de adição e subtração. Esta conclusão foi posteriormente confirmada num estudo em que bebés de nove meses mostraram maior tempo de olhar para resultados incorretos em operações com quantidades superiores, tanto de adição ($5+5=5$ vs. $5+5=10$) como de subtração ($10-5=10$ vs. $10-5=5$) (McKrink & Wynn, 2004).

A descoberta destas competências numéricas precoces reacendeu o debate relativamente às representações dos bebés, se estas eram de natureza especificamente numérica ou se assentavam noutros mecanismos de magnitude compartilhados com as representações de tempo e espaço. Uma crítica levantada aos estudos de comparação de quantidades foi a de que era possível estar a confundir variáveis perceptivas (como o tamanho dos estímulos, o espaço livre à sua volta, a luminosidade e a área total do conjunto) com representação de número. Vários estudos com controlo

rigoroso destas variáveis (e.g. Lipton & Spelke, 2003; Xu & Spelke, 2000) mostraram que os bebês de seis meses são capazes de discriminar um conjunto de 8 pontos de outro conjunto de 16 ou as equivalentes sequências de sons. Contudo, se estas quantidades eram mais próximas (e.g. 8 *vs.* 12), a discriminação já não acontecia aos 6 meses mas apenas aos 9.

Por outro lado, quando se controlam as variáveis perceptivas, os bebês deixam de ser capazes de discriminar pequenas quantidades como 1, 2 e 3. Parece que neste caso passam a considerar os elementos individualmente e não como um conjunto com uma determinada quantidade (Xu, Spelke & Goddard, 2005). Isto reforçou a ideia de que existem muito precocemente dois sistemas distintos para lidar com as numerosidades: um sistema aproximado para as grandes quantidades e um sistema preciso para as pequenas quantidades, designado por *subitizing* (do latim *subitus*, dada a rapidez com que somos capazes de nos aperceber da quantidade de itens de um conjunto com 4, ou menos, elementos) (Kaufman, Lord, Reese & Volkman, 1949).

Uma explicação neurocognitiva para esta dissociação pode ser a seguinte: quando há muitos objetos, o sistema visual¹ dos bebês privilegia a via dorsal para processar informação relativa à localização e à quantidade de objetos possíveis de alcançar com a mão, perdendo a informação relativa à identidade de cada um deles. Quando há poucos objetos, entra preferencialmente em ação a via ventral que permite identificar cada um deles, perdendo-se a informação relativa à localização e à quantidade (Mareschal & Johnson, 2003; Goswami, 2008).

CONTINUIDADES E DESCONTINUIDADES AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO

Apesar de sofisticadas, as competências numéricas dos bebês têm limitações importantes. O sistema de representação analógico (ou em *continuum*) não permite a distinção entre duas quantidades quando a

¹ Para conseguir uma percepção visual integrada há um processamento sofisticado desde as células da retina até ao córtex, na qual as informações sobre a cor, a forma e o movimento se vão reunindo e ganhando sentido. As duas principais vias de projeção das áreas visuais primárias para as restantes áreas do córtex sensorial são a via dorsal e a via ventral. A primeira, também chamada sistema “o quê”, vai para o córtex parietal posterior e permite ver os objetos individualmente com detalhe e fazer a sua identificação. A segunda, também chamada sistema “onde”, vai para o córtex temporal inferior e permite a análise espacial e visuomotora necessária para agarrar e manipular os objetos.

distância entre elas é demasiado pequena e é pouco preciso quando essas quantidades são muito elevadas.

Tal como para outras variáveis físicas, a discriminação de quantidades obedece à lei da proporcionalidade ou seja, a menor diferença percebida entre duas quantidades é proporcional ao rácio entre elas. Como vimos anteriormente, a diferença percebida por um bebé de 6 meses era 8 *vs.* 16 pontos ou batimentos (rácio 1:2) enquanto aos 9 meses era 8 *vs.* 12 (rácio 2:3) (Lipton & Spelke, 2003; Xu & Spelke, 2000), havendo uma progressiva precisão nesta discriminação até aos 6 anos (rácio 5:6), embora sem atingir a do adulto escolarizado, que pode chegar a 10:11 (Halberda & Feigenson, 2008; Piazza, Facoetti, Trussardi et. al., 2010). Além disso, diferenças de precisão na discriminação numérica dentro de um mesmo grupo etário, parecem estar relacionadas com os resultados em testes padronizados de desempenho na matemática (Halberda, Mazzocco & Feigenson, 2008). Mais ainda, crianças com discalculia, uma perturbação da aprendizagem específica para o domínio dos números e da matemática, mostram também alterações na capacidade de discriminar quantidades (Piazza et al., 2010).

Curiosamente, culturas que não valorizam a informação numérica, como é o caso de índios da Amazónia falantes de Mundurucu, uma língua que não tem palavras para números superiores a cinco, fazem cálculos aproximados mas não conseguem calcular, de modo exato, quantidades superiores a 5 (Pica, Lemer, Izard & Dehaene, 2004).

Outro problema com o processamento numérico analógico (ao longo da linha numérica mental) é que se torna progressivamente mais lento e impreciso à medida que a quantidade aumenta, numa função de tipo logarítmico isto é, sobrestimando os números pequenos e comprimindo os grandes (Izard & Dehaene, 2008).

Como é que se ultrapassam estas limitações do sistema aproximado? Muito possivelmente, através da interação entre a maturação cerebral e a experiência física e social da criança.

É provável que o sistema de magnitude seja no início de natureza mais perceptiva, supramodal (porque é independente da modalidade sensorial em que o estímulo é recebido) e partilhado entre as representações de número, de tempo e de espaço. Com o desenvolvimento da contagem verbal associada aos dedos e aos objetos, a criança poderá organizar os dois sistemas primitivos, o *subitizing* de pequenas quantidades e o sistema aproximado para grandes quantidades, num todo coerente (Goswami, 2008). Além disso, o desenvolvimento concomitante de aspe-

tos cognitivos de domínio geral, como o processamento visuoespacial, a memória de trabalho ou o funcionamento executivo e de aspetos de domínio específico ao número, como a utilização dos numerais árabes na educação formal, vai permitir alargar enormemente a compreensão e a utilização dos números. Por exemplo, permite aceder a números ou muito grandes ou muito pequenos que estariam provavelmente inacessíveis à experiência sensível.

Assim, podemos dizer que há continuidade ontogenética e até filogenética no desenvolvimento desta competência, uma vez que um mesmo sistema de representação aproximada de número, não simbólico, é partilhado por outros animais e constitui o alicerce da cognição numérica. A metáfora duma linha numérica mental, de tipo logarítmico, preenche bem os requisitos deste tipo de representação, que se mantém ao longo do desenvolvimento. Mas há também descontinuidade, pois quando a criança passa a ser capaz de codificar as quantidades de modo exato e a estabelecer relações de cardinalidade e de ordem, está a fazer algo qualitativamente diferente, tal como os estudos das neurociências que veremos em seguida permitem confirmar.

DESENVOLVIMENTO DO NÚMERO E ESPECIALIZAÇÃO CEREBRAL

Ao longo do desenvolvimento, o padrão de organização cerebral privilegia a assimetria e a especialização anatômica e funcional. Por exemplo, no que diz respeito à linguagem, assiste-se muito precocemente – logo na primeira semana de vida – a uma maior activação do hemisfério esquerdo em resposta à estimulação verbal (Molfese & Molfese, 1988). Apesar de haver grande plasticidade num sistema imaturo, permitindo que, em caso de lesão, cada hemisfério adote as funções do outro, com a maturação assiste-se a uma progressiva especialização.

Nos adultos, tanto as descrições de pacientes com lesões cerebrais como os estudos de imagiologia cerebral, não só permitiram associar o lobo parietal às capacidades de cálculo, como sugerem que os dois hemisférios podem ter diferentes funções na resolução de problemas que envolvem quantidade. Mais especificamente, parece que ambos os hemisférios permitem uma representação da magnitude, sendo capazes de reconhecer e comparar quantidades mas, enquanto o hemisfério direito faz estimativas e aproximações, o hemisfério esquerdo permite fazer cálculos exactos (Ansari, 2008; Piazza, Pinel, Le Bihan, & Dehaene, 2007).

Na infância, as competências subjacentes ao sentido do número parecem começar por recrutar o hemisfério direito. Um estudo com potenciais evocados mostrou que os bebés de três meses, quando são expostos continuamente a estímulos visuais semelhantes, respondem à novidade numérica com maior activação do córtex parietal direito, enquanto respondem à novidade de objecto com activação do córtex occipito-temporal esquerdo (Izzard, Dehaene-Lambertz & Dehaene, 2008). Apesar da utilização do EEG não permitir uma boa resolução espacial, os resultados deste estudo têm sido confirmados com outros métodos mais precisos. Por exemplo, um estudo com ressonância magnética funcional revelou que aos quatro anos, é o sulco intra-parietal direito que responde com maior actividade à novidade numérica, enquanto nos adultos esta resposta é bilateral (Cantlon, Brannon, Carter & Pelphrey, 2006).

Outros estudos de neuroimagem com crianças sugerem que o córtex intraparietal esquerdo vai sendo progressivamente mais recrutado, o que está correlacionado com uma maior precisão na representação de quantidades e com uma diminuição dos recursos atencionais e de memória (Ansari & Dhital, 2006; Rivera, Reiss, Eckert & Menon, 2005).

Estes estudos sugerem que os substratos neurais se modificam com a idade, o que se deve tanto ao próprio desenvolvimento como à influência do meio, nomeadamente da escolaridade, que estimula o cérebro a seguir caminhos diferentes do biologicamente programado. Assim como a aprendizagem da leitura e da escrita modifica o padrão cerebral, acentuando a dominância do hemisfério esquerdo e a progressiva especialização de áreas que permitem o reconhecimento automático de palavras que utilizamos frequentemente, é possível que se assista a algo semelhante quando a criança adquire uma linguagem para os números. A lateralização da linguagem, à esquerda, precede e influencia a lateralização do número, quando a criança passa a dominar a representação simbólica verbal e visual, embora na idade adulta estas duas funções se dissociem² (Pinel & Dehaene, 2009).

Um estudo recente com crianças de 4 a 9 anos de idade e adultos utilizou a RMf para testar a resposta neural à discriminação de quantidade no sulco intraparietal (SIP) direito *vs.* esquerdo, ao longo do desen-

² Uma vez que adultos com lesões cerebrais podem manifestar perturbações de linguagem (como afasia, alexia ou agrafia) mas manter a capacidade de fazer cálculos complexos ou de ler e escrever numerais e vice-versa, o que permitiu inferir que estas funções têm suportes distintos (e.g. Butterworth, 1999; Dehaene, 1997).

volvimento (Emerson & Cantlon, 2014). Os autores encontraram maior estabilidade ao longo do desenvolvimento para a resposta neural do SIP direito e alterações sistemáticas em função da acuidade numérica das crianças para a resposta neural do SIP esquerdo. Estes resultados estão de acordo com a ideia exposta acima de que encontramos simultaneamente continuidade e descontinuidade no desenvolvimento da cognição numérica. Aprender a contar, a realizar cálculos e a fazer medições, pode desempenhar um papel crítico na mudança de representações aproximadas para exatas, uma mudança conceptual cujo suporte neural envolve quase seguramente uma “reciclagem” do sulco intraparietal esquerdo (Dehaene, 2010; Nieder & Dehaene, 2009; Piazza & Izard, 2009).

No desenvolvimento, o cérebro parece harmonizar dois caminhos aparentemente contraditórios, o da especialização e o da cooperação em redes cada vez mais complexas. Para conhecer os números precisamos, por um lado, de estruturas simples que respondam de modo rápido e eficiente à informação numérica e, por outro, de uma comunicação fluente entre diferentes áreas de modo a permitir uma interacção constante entre representações quantitativas, visuais e verbais bem como entre dados armazenados na memória e procedimentos realizados on-line.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSARI, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Neuroscience*, 9, 278-291.
- ANSARI, D. & DHITAL, B. (2006). Age-related changes in activation of the intraparietal sulcus during non-symbolic magnitude processing: an event-related functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 1820-1828.
- ANTELL, S. E. & KEATING, D. P. (1983). Perception on numerical invariance in neonates. *Child Development*, 54, 695-701.
- BRANNON, E. S. (2002). The development of ordinal numerical knowledge in infancy. *Cognition*, 83 (3), 223-240.
- BUTTERWORTH, B. (1999). *The mathematical brain*. London: Macmillan.
- CANTLON, J. F. & BRANNON, E. M. (2006). Shared systems for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychological Science*, 17, 401-406.
- CANTLON, J. F.; BRANNON, E. M.; CARTER, E. J. & PELPHEY, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. *PLoS Biology*, 4, e125.

- COOPER, R. G. (1984). Early number development: discovering number space with addition and subtraction. In: C. Sophian (Ed.), *Origins of cognitive skills*, pp. 157–192. New Jersey: Erlbaum.
- DEHAENE, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, *44*, 1-42.
- DEHAENE, S. (1997). *The number sense: How the human mind creates number*. New York: Oxford University Press.
- DEHAENE, S. (2010). *La bosse des maths: quinze ans après*. Paris, Odile Jacob.
- DEHAENE, S. & COHEN, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*, *1*, 83-120.
- DEHAENE, S.; PIAZZA, M. PINEL, P.; & COHEN, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology*, *20*, 487-506.
- DEHAENE, S.; & ZORZI, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition*, *116 (1)*, 33-41.
- EMERSON, R.W. & CANTLON, J. F. (2014). Continuity and change in children's longitudinal neural responses to numbers. *Developmental Science*, Online Version of Record published before inclusion in an issue, 1-13.
- GOSWAMI, U. (2008). *Cognitive Development: The learning brain*. Hove: Psychology Press.
- HALBERDA, J. & FEIGENSON, L. (2008). Developmental change in acuity of the “number sense”: The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6- years-olds and adults. *Developmental Psychology*, *44*, 1457-1465.
- HALBERDA, J., MAZZOCCO, M. M., & FEIGENSON, L. (2008). Individual differences in non-verbal number acuity correlate with maths achievement. *Nature*, *455*, 665-668.
- IZARD, V., & DEHAENE, S. (2008). Calibrating the mental number line. *Cognition*, *106(3)*, 1221-1247.
- IZZARD, V. DEHAENE-LAMBERTZ, G. & DEHAENE, S (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in infants. *PLoS Biol.* *6*, e11.
- IZZARD, V.; SANN, C.; SPELKE, E.S. & STERI, A. (2009). Newborn infants perceive abstract numbers. *Proceedings of National Academy of Sciences of USA*, *106 (25)*, 10382-10385.
- JORDAN K. E. & BRANNON E. M. The multisensory representation of number in infancy. *Proceedings of National Academy of Sciences of USA*, *108 (9)*, 3486-3489.
- KAUFMAN, E. L.; LORD, M. W.; REESE, T. W. & VOLKMANN, J. (1949). The discrimination of visual number. *The American Journal of Psychology*. *62 (4)*, 498-525.
- LIPTON, J., & SPELKE, E. (2003). Origins of number sense: Large number discrimination in human infants. *Psychological Science*, *14*, 396-401.
- MARESCHAL, D. & JOHNSON, M. H. (2003). The “what” and “where” of object representation in infancy. *Cognition*, *88*, 225-276.
- MCCRINK, K. & WYNN, K. (2004). Large-number addition and subtraction by 9-month old infants. *Psychological Science*, *15(11)*, 776-781.

- MOLFESE, D. L. & MOLFESE, V. J. (1988). Right-hemisphere responses from preschool children to temporal cues to speech and nonspeech materials: Electrophysiological correlates. *Brain and Language*, 33, 245-259.
- NIEDER, A. & DEHAENE, S. (2009). Representation of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, 32, 185-208.
- PIAGET, J. & SZEMINSKA, A. (1941). *A gênese do número na criança*. Rio de Janeiro: Zahar Ed. (trad Brasileira, 1971).
- PIAZZA, M.; FACOETTI, A.; TRUSSARDI, A. N.; BERTELETTI, I.; CONTE, S.; LUCANGELI, D.; DEHAENE, S. & ZORZI, M. (2010). Developmental trajectory of number acuity reveals a severe impairment in developmental dyscalculia. *Cognition* 116 (1), 33-41.
- PIAZZA, M. & IZARD, V. (2009). How humans count: Numerosity and the parietal cortex. *Neuroscientist*, 15, 261-273.
- PIAZZA, M., PINEL, P., LE BIHAN, D., & Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron*, 53, 293-305.
- PICA, P., LEMER, C., IZARD, V., & DEHAENE, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science*, 306 (5695), 499-503.
- PINEL, P. & DEHAENE, S. (2009). Beyond hemispheric dominance: brain regions underlying the joint lateralization of language and arithmetic to the left hemisphere. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22 (1), 48-66.
- RIVERA, S. M.; REISS, A. L.; ECKART, M. A. et al. (2005). Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 15 (11), 1779-1790.
- SIMON, T. J.; HESPOS, S. J. & ROCHAT, P. (1995). Do infants understand simple arithmetic? A replication of Wynn (1992). *Cognitive Development*, 10, 253-269.
- STARKEY, P. & COOPER, R. G. (1980). Perception of numbers by human infants. *Science*, 210, 1033-1035.
- STARKEY, P.; SPELKE, E. S. & GELMAN, R. (1990). Numerical abstraction by human infants. *Cognition*, Aug; 36(2): 97-127.
- WYNN, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358, 749-750.
- XU, F. & Spelke, E. S. (2000). Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition*, 74 (1), B1-B11.
- XU, F.; SPELKE, E. S. & GODDARD, S. (2005). Number sense in human infants. *Developmental Science*, 8 (1), 88-101.