

RECURSÃO-NEUROCIÊNCIA E HISTÓRIA DA MATEMÁTICA

Manoel de Campos Almeida
Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR-Brasil

(aceito para publicação em setembro de 2022)

Resumo

O presente trabalho visa investigar tanto as origens históricas como os processos neurofisiológicos mediante os quais o cérebro humano processa a recursão, tanto linguística como matemática. Igualmente será estudada as possibilidades de povos não disporem da recursão, bem como quais seriam os mínimos conceitos matemáticos necessários para a sobrevivência das espécies. Especial atenção será dada ao estudo das particularidades do povo Pirahã.

Palavras-chave: recursão, história da matemática, neurociência, Pirahã.

[RECURSION-NEUROSCIENCE AND HISTORY OF MATHEMATICS]

Abstract

The present work aims to investigate both the historical origins and the neurophysiological mechanisms through which the human brain processes recursion, both linguistic and mathematical. It will also be studied the possibilities of peoples not having recursion, as well as what would be the minimum mathematical concepts necessary for the survival of the species. Special attention will be paid to the study of the particularities of the Pirahã people.

Keywords: recursion, history of mathematics, neuroscience, Pirahã.

1. Introdução

“O que nos torna humanos?” é uma questão formulada muitas vezes, tanto no passado como no presente, para a qual ainda não dispomos de uma resposta clara. Várias hipóteses já foram propostas, tais como a capacidade dos humanos entenderem símbolos, ou suas habilidades cognitivas e sociais, com as quais os humanos superam seus colegas do reino animal, sendo que uma das mais óbvias é sua capacidade de linguagem.

A linguagem independe da fala, o que pode ser facilmente constatado na linguagem dos sinais, empregada na comunicação com surdos-mudos. Primatas não humanos, bem como cães, podem aprender, mediante treino, associar palavras tais como formas e cores com vários objetos. Animais não humanos são incapazes de processar a linguagem humana devido à sua incapacidade de combinar palavras para formarem frases e sentenças.

Recursão é a capacidade de embutir, aninhar, uma frase dentro da outra, construindo assim frases hierarquicamente estruturadas. Um exemplo é a bem conhecida fala: “Hermione disse que Hagrid quer ver você”. Um dicionário é um exemplo de recursão: cada palavra no dicionário é definida por outras palavras, que, por sua vez, são definidas por outras palavras no mesmo dicionário.

O ato da recursão compreende manter em mente a relação entre os seus dois elementos ou pensamentos, bem como efetivar a modificação que um elemento ou pensamento tem sobre o outro.

A indução é o raciocínio que, após considerar um número suficiente de casos particulares, conclui uma verdade geral. A indução matemática consiste em provar a verdade de um primeiro passo, constatar que o passo seguinte também é verdadeiro, então arguir que todos os passos consecutivos também o serão.

Tanto a recursão como a indução exigem um ordenamento, o que é uma característica temporal. A Matemática moderna, contudo, é despida da realidade física. Ela exige um espaço-tempo próprio, não físico e atemporal, um *Raumzeit Mathematisch (RM)* intrínseco.

Os platonistas apregoam a existência de uma realidade Matemática imutável, independente da existência do homem. Contudo, a Matemática, como nós a conhecemos, é uma construção do intelecto humano, estados mentais determinam e operam esse *Raumzeit Mathematisch*, que nos permite a recursão ou a indução.

Nas teorias materialistas o mental não é distinto do físico, ou seja, todos os entes matemáticos, seus processos e operações, são, em princípio, idênticos com estados mentais dentro do cérebro, portanto físicos, como ensina a moderna teoria neuronalista.

Por exemplo, os postulados da axiomática de Peano para a construção dos números naturais baseiam-se na noção de sucessor, que requer uma ordenação temporal dentro do *RM*. Eles exigem um antecedente primordial: 1 é um número natural; bem como uma ordenação temporal dentro do *RM*: todo número natural possui um único sucessor.

Todavia, todos os números naturais, observada essa axiomática, estão construídos no mesmo tempo físico, ou seja, existem concomitantemente dentro da nossa realidade.

Essa temporalidade é mais facilmente percebida na construção dos números ordinais, dada sua quase inevitável comparação com a percepção de eventos reais, todavia, igualmente todos os ordinais existem concomitantemente dentro da nossa realidade.

O emprego da recursão tem suas raízes provavelmente nos primórdios do uso da linguagem pelo *Homo sapiens* (*Hs*), no Paleolítico.

A capacidade de armazenamento fonológico, isto é, a faculdade de retermos na memória fonemas ou palavras, é de fundamental importância para o estabelecimento de uma regra recursiva inata, capaz de associar um número ao seu sucessor.

Hauser, Wynn e Coolidge (Wynn, 2004) enfatizam a relevância da capacidade de armazenamento fonológico na evolução da linguagem, argumentando inclusive que pode ter determinado consideráveis diferenças cognitivas entre linhagens hominídeas, como os Neandertais e os *Homo sapiens*.

Hauser propôs uma distinção entre a faculdade da linguagem em um sentido amplo (LSA) e em um sentido estrito (LSE). A LSE, específica do *Hs*, seria um sistema linguístico computacional abstrato, o qual propunha ser independente de outros sistemas, como o da memória. É um sistema computacional que gera representações internas e mapeia-as na interface sensorio-motora, por meio de um sistema fonológico, e na interface conceitual-intencional por meio de um sistema semântico formal.

Dessa maneira, uma propriedade fundamental da LSE, que seria somente pertencente à linguagem humana, seria sua capacidade de recursão, embora no presente admite-se que alguns animais não humanos também a tenham (Friederici, 2011; Almeida, 2020).

A recursão pode ser infinitamente geradora, mas é limitada pela capacidade de armazenamento fonológico. Essa capacidade representa uma memória de curta duração que pode ser retrazada a hominídeos próximos na escala evolutiva e a sistemas cerebrais de primatas contemporâneos.

A linguagem deve ter evoluído primariamente pela expansão da capacidade de memória de curto prazo, o que permitiu o processamento de sons que transmitem significados elaborados, eventualmente participando também em processos sintáticos.

Esse incremento na memória produziu resultados imediatos no comprimento e na complexidade das sentenças, o que pode fundamentar os argumentos em favor de que uma linguagem, bem como de que tradições orais avançadas, são características de um comportamento moderno.

Alguns autores argumentam, convincentemente, que essa independência de simples frases declarativas morfológicas, tornada possível pelo aumento da memória de trabalho, bem como pelo incremento da LSE, auferiria às culturas a habilidade de compartilharem mitos que as unem tanto ao mundo natural como aos seus ancestrais, tais como os mitos de criação. Isso é provável ter acontecido no período Aurignaciano, com a cultura Cro-Magnon, no Paleolítico Superior. .

Essas narrativas podem ter sido excelentes substitutos para experiências que demandavam bastante tempo ou que eram perigosas. Também podiam auxiliar na transmissão de conhecimentos relativos à habitats, colheitas, migração de animais, geografia, plantas, fauna, tempo, calendário e mesmo práticas numéricas.

Rachel Caspari e Sang-Hee-Lee (2004) investigaram quando na história da humanidade a espécie humana atingiu uma longevidade que permitiu aos seus integrantes tornarem-se avós.

Os avós são importantes sustentáculos tanto econômicos como sociais, fundamentais vetores de transmissão de crenças e de conhecimentos, geradores de conexões sociais complexas, propiciando assim informações que são o alicerce sobre o qual se edifica a organização social humana.

São eles que transmitem informações utilitárias, como que tipos de plantas são comestíveis ou venenosas, ou mesmo medicinais, como fazer um cesto ou uma corda, como localizar uma fonte de água potável, como fazer um machado de pedra, uma agulha, um arpão, ou mesmo como aguardar ou acompanhar rebanhos que se deslocam sazonalmente.

Também são eles os elos que permitem a transmissão de crenças transcendentais, como mitos de criação ou elementos de magia, fundamentais para o estabelecimento da prática da recursão.

Igualmente, são eles que permitem a transmissão contínua entre gerações de conhecimentos matemáticos aplicáveis à vida cotidiana, como a comparação entre dois conjuntos para a determinação do qual é o maior, ou como distribuir equitativamente produtos da caça ou da pesca, ou como registrar a duração de períodos de menstruação, ou de gravidez, de pistas sobre orientação espacial, ou mesmo de como contar/registrar o número de dias necessário para um dado percurso, ou contar/registrar o número de frutas colhidas ou de dias das fases da lua (Almeida, 2013, 2017).

Caspari e Lee concluíram que somente no Paleolítico Superior (~50 Ka–10 Ka) espécie *Homo* atingiu uma longevidade suficiente, tal que permitisse que a prática da recursão fosse definitivamente incorporada à sua linguagem (Caspari e Lee, 2004, 2006).

O gramático hindu Panini (c.520–c.460 a. C.) já mencionava a recursão em sua gramática, a qual é considerada a primeira gramática de uma língua produzida na história da civilização humana.

Vale indagar qual a relação da recursão com a linguagem e o pensamento moderno. Uma capacidade de memória incrementada permite “manter na mente” um número muito maior de opções, bem como proporcionar ao falante uma maior criatividade e flexibilidade comportamental.

Então é possível que a capacidade de formulações como “então se..., o que se...”, do modo subjuntivo da linguagem, as quais podem ser formuladas apenas através da recursão, surgiu com o aumento da memória de trabalho. O modo subjuntivo costuma ocorrer em ações verbais consideradas suposições ou hipóteses ainda não tidas como reais ou verossímeis no contexto empregado.

O modo subjuntivo é fundamental em formulações matemáticas, tais como: “se”(isto) “então” (aquilo), na formulação de hipóteses, ou em relações de implicação: “se” (isto) “implica” (aquilo).

O modo subjuntivo da linguagem expressa uma ação ou estado como um fato irreal, ou simplesmente possível, ou desejado. Isso permite a adoção de um simbolismo muito mais elaborado. Também pode ter sido fundamental para a criação de arquétipos, que até hoje se mantêm.

Esse modo de expressão, se supõe, pode ter sido a base da arte teriantrópica, que conjuga animais a seres humanos, uma das mais impressionantes realizações da arte pré-histórica Aurignaciana. Monstros permeiam o imaginário coletivo desde essas priscas eras.

Avanços da neurociência começam a desvendar como o cérebro humano opera a recursão, como ver-se-á na sequência.

2. Neurociência da Recursão

A neurofisiologia associa os lobos intraparietais inferiores, particularmente os giros supramarginal e angular superior, como a capacidade de armazenamento fonológico e com processos articulatórios sub-vocais, isto é, com a capacidade de “fala interiorizada” (Fig.1) (Almeida & Justino), 2020).

Uma das mais básicas competências de um falante de uma língua é sua habilidade de combinar unidades menores, por exemplo, palavras, em unidades maiores, como frases.

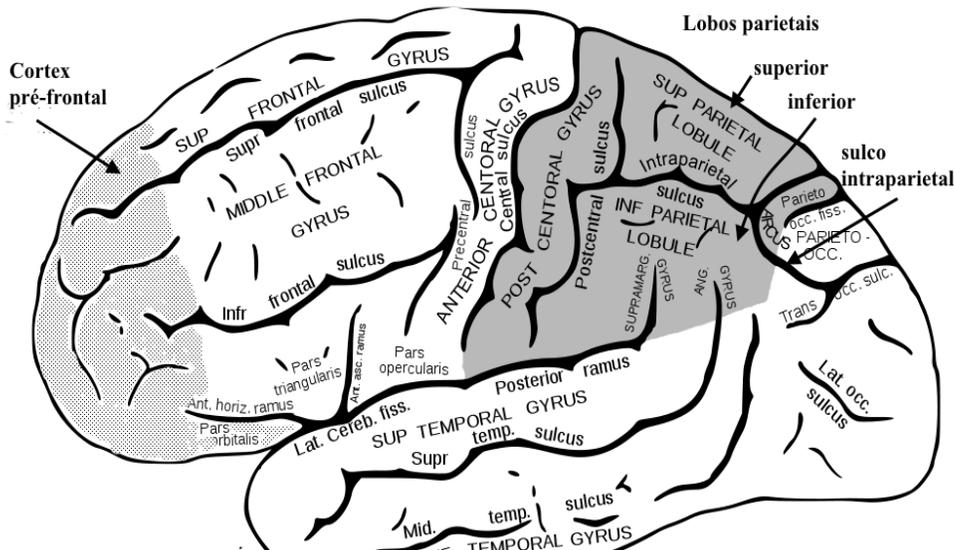


Fig.1 Lobos parietais: superior e inferior; córtex pré-frontal; sulco intraparietal.
Cf. :Almeida & Justino, 2020.

Um morfema é a menor unidade linguística que possui um significado, abrangendo raízes e sufixos. Chomski definiu um mecanismo denominado de *Merge*, que concatena dois e somente dois objetos sintáticos (morfemas, palavras) em cada aplicação. Merge, portanto, combina palavras para formar frases. Por exemplo, “azul” e “pássaro”, mediante Merge obtemos: “pássaro azul”. Atua também recursivamente: “ [o] pássaro azul, que estava na árvore, cantou”.

Recentemente tem sido debatido qual parte de uma linguagem distingue a linguagem humana de outros possíveis sistemas de comunicação (Hauser, 2002). Para tal, estudos têm sido conduzidos tanto em humanos como em animais não humanos.

Um deles (Fitch, 2004) comparou o aprendizado de gramática em humanos e em primatas não humanos, reportando que primatas não humanos podem aprender uma gramática probabilística simples, chamada Gramática de Estado Finito (GEF), denotada por $(AB)^n$, mas não uma gramática mais complexa, conhecida como Gramática de Estrutura de Frase (GEF), $AnBn$, característica dos humanos.

Humanos podem aprender ambas as gramáticas, após curto período de treino (Fitch, 2004), mas o que é interessante é que pássaros canoros também o podem, mas somente após longos períodos de treino (Gentner, 2006).

Tem-se debatido sobre se áreas do cérebro que podem processar linguagens naturais hierarquizadas também podem processar linguagens matemáticas, que são notoriamente simbolizadas e igualmente hierarquizadas. Um estudo por Friederici et. al. (2011) buscou esclarecer essa questão, como veremos.

Durante muito tempo os melhores mapas do córtex cerebral dividiam-no em 52 regiões, denominadas de áreas de Broadman (BA) em homenagem ao anatomista alemão Korbinian Brodmann (1868–1918), neurologista e psiquiatra alemão, que as estabeleceu em 1906, e eram baseadas no arranjo das células no tecido.

Agora, neurocientistas do Functional Connectomes Project elaboraram um novo mapa do córtex, subdividindo-o em 180 regiões, das quais 97 desconhecidas, que nunca tinham antes sido descritas, apesar de mostrarem diferenças em estrutura, função e conectividade com suas vizinhas. As outras 83 foram confirmadas (Almeida & Justino, 2020).

É sabido que a área de Broca suporta processos sintáticos na compreensão de linguagens naturais, bem como está envolvida no processamento de seqüências complexas hierarquicamente estruturadas.

O córtex frontal inferior (iFC): a parte anterior da área de Broca (BA 44,45) e o tecido adjacente no iFC esquerdo (áreas de Brodmann: BA, 44, 45 e 47) estão ativos no processamento semântico e em mudanças funcionais no iFC (Fig. 2).

Os sistemas motores do iFC esquerdo e dos sistemas motores frontocentrais bilaterais tornam-se ativos mais fortemente no processamento de palavras e frases relacionadas à ação; lesões nestas áreas, como ocorre em acidentes vasculares cerebrais e demência, levam a prejuízos relativamente pronunciados no processamento de palavras e conceitos relacionados à ação (id.).

Hauser (2002) e Fitch (2010) propuseram que a recursão, como assumida para uma linguagem, também poderia ser empregada em matemática e no processamento de fórmulas matemáticas. O estudo de Friederici et. al. (2011) se concentrou em esclarecer esse ponto, ou seja, como o cérebro processa a recursão em fórmulas matemáticas.

Estudos de neuroimagens investigando estruturas hierárquicas similares em diferentes domínios, que imitam linguagens naturais, contribuíram para revelar que principalmente as áreas de Brodmann 44 e 45 são acionadas. Portanto, essas áreas parecem desempenhar um papel relevante no processamento da recursão. Contudo, estariam também influenciando no processamento da recursão em matemática?

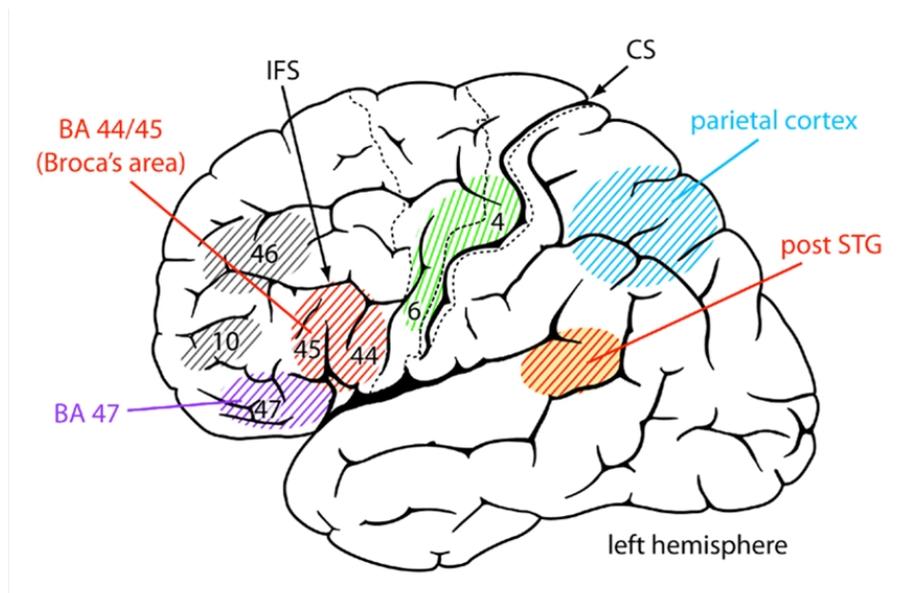


Fig.2 BA = Brodmann Area; CS = central sulcus; IFS = inferior frontal sulcus; STG = superior temporal gyrus. Cf. Friederici, 2011.

Basicamente as fórmulas matemáticas podem ser de dois tipos: 1) com uma estrutura linear, onde não ocorre recursão; 2) hierarquicamente estruturadas, onde a recursão é empregada (Fig.3).

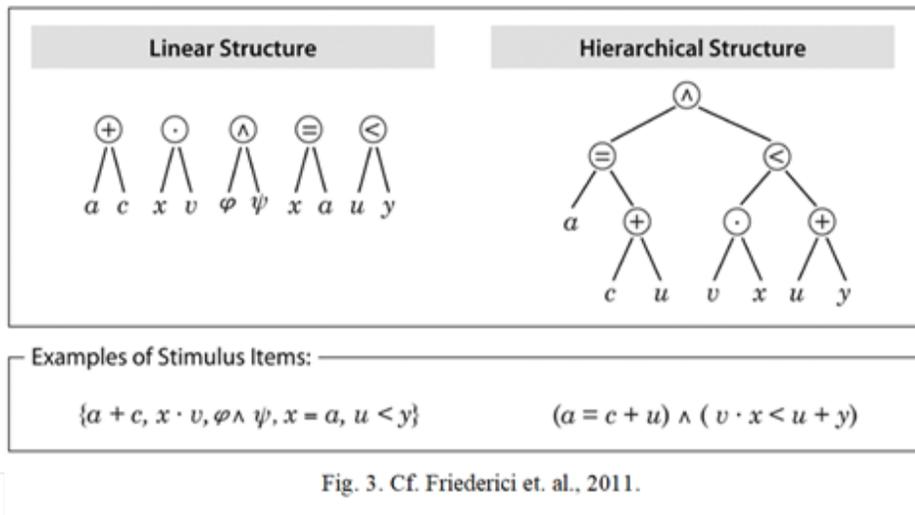
O estudo de Friederici mostrou que, além de convocar as áreas BA 44/45, o emprego de fórmulas matemáticas recursivas acionou fortemente a região da área de Brodmann BA 47.

As fórmulas empregadas nesse estudo não continham números, para evitar questões relacionadas com numerosidades e processos numéricos correlatos. Os seus participantes foram estudantes de matemática e de física, altamente familiarizados com o processamento de fórmulas matemáticas.

Imagens de fMRI foram tomadas enquanto os participantes efetuavam julgamentos sobre a veracidade ou falsidade das fórmulas que lhes eram visualmente apresentadas.

A análise das neuroimagens de todo o cérebro assim obtidas mostrou um claro efeito de hierarquia, ou seja, de recursão no processamento dessas fórmulas matemáticas, na área BA 44 e nas regiões parietais, bem como significativamente na BA 47, bordejando a BA 45.

Contudo, cabe uma observação. Embora as áreas do cérebro responsáveis pela recursão pareçam identificadas, o mecanismo de como elas a processam ainda é recôndito mistério.



Um importante aspecto do processamento de fórmulas matemáticas, hierarquizadas ou não, quando comparado com o processamento da linguagem, é que o processamento de fórmulas matemáticas pode ser, mesmo para os matemáticos, menos automático, requerendo mais controle cognitivo que o processamento de hierarquias em linguagens.

Esse é um ponto importante para o ensino da matemática, a tradução dos símbolos em seus significados, mediante palavras, quando do seu ensino, ou mesmo de seu emprego, é fundamental para que o aluno, ou mesmo para o matemático, estabeleça e fortaleça as conexões mentais.

3. Todos os povos dispõem da recursão?

Neste ponto, cabe uma indagação. Existem povos que não dispõem do mecanismo da recursão? Caso existam, eles seriam incapazes de uma Matemática idêntica à nossa. Vimos que todos os humanos (*Hs*) compartilham de uma mesma estrutura cerebral, de uma mesma neurofisiologia, pelo menos desde o Paleolítico Superior, exceto, é óbvio, em casos patológicos. Nesse caso, ao menos potencialmente, todos poderiam ter acesso a uma Matemática moderna.

Estudos seminais realizados pelo linguista norte estadunidense Daniel Everett sobre a língua Pirahã, no estado do Amazonas, desde 1977, contribuíram significativamente para o estudo da questão. A língua Pirahã é a última sobrevivente da família de línguas Muran e é falada por aproximadamente 450 pessoas, que habitam ao longo do Rio Maici, no estado do Amazonas.

Os Pirahãs, bem como sua língua, possuem características notáveis que os tornam praticamente únicos, senão vejamos: não dispõem de números ou de qualquer tipo de

conceito de contagem ou de quaisquer termos para quantificação; não dispõem de termos para cores; não desenham ou praticam qualquer outra arte, bem como têm uma das mais simples culturas materiais documentadas; não dispõem da recursão; possuem o mais simples sistema de parentesco já documentado; ficção ou mitos de criação estão ausentes; inexistem uma memória coletiva ou individual de mais que duas gerações passadas; dispõem do mais simples inventário de pronomes conhecidos; são monolínguas apesar de mais de 200 anos em contacto com os Tupi-Guarani falantes de Kawahiv (Everett, 2005).

O fato de não empregarem a ficção, ou seja, de não empregarem o modo subjuntivo da linguagem, de *per si* já é um indício cultural que justifique eles não terem o mecanismo da recursão. Outro indício cultural é não terem mitos de criação, para o que necessitariam da recursão para embutir histórias dentro de histórias. Quando pressionados a falar sobre “criação”, simplesmente dizem; “tudo é o mesmo, nada muda, nada foi criado” (id.).

Suas comunicações são quase sempre descrições da experiência imediata, não possuem o tempo perfeito, passado; têm algumas histórias acerca do passado, mas somente do passado recente, limitado a uma ou duas gerações atrás. A cultura Pirahã evita falar sobre conhecimentos além do pessoal, imediato, transmitido via experiência (Everett, 2005).

Eles não desenham, exceto por extremamente simples figuras representando o espírito do mundo, que eles clamam terem experiência própria.

Não existe uma gramática para números do Pirahã, nem nomes (substantivos), pronomes, verbos ou modificadores para números. Não empregam contagem corporal e nem usam objetos, ou qualquer coisa, como *calculi*. Do mesmo modo, não há nada que indique terem um conceito de “tallying”, ou seja, do emprego de correspondências um a um, como marcas (cortes) em ossos, que são as mais antigas evidências de processos de contagem. (Everett, 2005). Não possuem termos quantificadores como "todos", "cada um", "a maioria" e "poucos" (id.).

Não conseguem, por falta de abstração, entender o significado de numerais, ou seja, de signos para números. Se lhes é pedido, por exemplo, escrever o numeral “2”, fazem marcas aleatórias no papel e consideram sua “escrita” exatamente igual a numeral “2”.

Essas restrições, opina Everett, são de fundo cultural, pois não existem limitações de caráter linguístico ou cognitivo, mas há um valor cultural comum que eles compartilham, ou seja, o valor de se referir apenas à experiência imediata.

A incapacidade dos Pirahãs para falar sobre as coisas removidas da experiência pessoal (por exemplo, abstrações do tipo representada por números, contagem, quantificação, parentescos complexos, cores, e outros domínios semânticos/culturais) mostra que as diferenças registradas nas suas língua e gramática são estritamente condicionadas pela sua cultura.

4. A *Urmathematik*

A palavra “matemática” tem sua origem no étimo “*matema*”, através do latim *mathematīca*, que provém do grego *mathēmatiká*, postulando conhecimento, associado ao termo *máthēma*, em alusão a um saber compreendido, com raiz no indo-europeu **mendh-*, contemplado como aprender. Portanto, sua acepção original é “conhecimento, saber aprendido, aprender”, bem distante do que presentemente entendemos como “matemática”. De particular importância é o seminal ensinamento de D’Ambrosio: “O que nós chamamos de matemática é uma das muitas estratégias que a humanidade desenvolveu, acumulou e transmitiu ao longo de gerações [para a sobrevivência da espécie]” (D’Ambrosio & Almeida, 2017).

Vimos que os Pirahãs não dispunham de números, nem de processos de contagem, mas aqui cabe a indagação: que tipo de conceitos matemáticos eles então poderiam dispor?

Como membros da espécie *Homo sapiens* eles devem auferir dos mesmos conceitos matemáticos que a neurofisiologia de seus cérebros proporciona a todos os seus elementos.

Presentemente sabe-se que os animais podem possuir dois diferentes sistemas não verbais para representar valores numéricos. O primeiro sistema (*OFM - Object-File Model*) representa precisamente números pequenos (até 3 ou 4), sendo cada objeto a ser enumerado em um conjunto representado por um único símbolo. Numerosidades (ou o senso numérico) são explicadas por esse sistema. Como a representação da quantidade é exata, animais empregando esse modelo não seguem a lei de Weber-Fechner ou mostram efeitos de razão.

No segundo sistema, denominado de *sistema de números aproximados (ANS - Approximate Number System)*, animais representam aproximadamente números maiores e também possivelmente números menores. Nesse sistema quantidades são representadas como *magnitudes mentais*, ou seja, não simbólicas, estando sujeitas a efeitos de razão; portanto, quantidades usando este sistema seguem a lei de Weber-Fechner (Almeida, 2017, 2020, 2021).

A lei de Weber estatui que a diferença perceptível entre o tamanho de dois estímulos depende mais da razão entre as suas duas magnitudes do que das suas diferenças absolutas. Ernest Heinrich Weber (1795–1878) foi precursor em quantificar o modo de como um ser humano responde a um estímulo físico. A Lei que leva seu nome (Lei de Weber) estabelece que uma diferença noticiável entre dois estímulos é proporcional à magnitude dos estímulos. Gustav Theodor Fechner (1801–1887) aperfeiçoou a Lei de Weber, estabelecendo que a sensação subjetiva é proporcional ao logaritmo da intensidade do estímulo.

Uma consequência da Lei de Weber-Fechner é que a habilidade para discriminar entre dois valores de estímulo depende mais na sua razão do que dos seus valores absolutos. Essa fração, conhecida como fração de Weber, relaciona S , um estímulo em um instante considerado, com S_0 , um estímulo inicial. Portanto, a sensação subjetiva é proporcional à fração S/S_0 , ou melhor, ao logaritmo dessa fração (Almeida, 2017, 2019).

O primeiro sistema, o OFM, permite discriminar, de uma forma exata, número, geralmente até 4, em casos extraordinários até 7; já o segundo, o ANS, permite avaliar proporções relativas, denotadas por frações. A conjugação dos dois sistemas permite aos

animais condições mínimas de sobrevivência e são absolutamente imprescindíveis para a perpetuação das espécies

O fato de que muitas magnitudes contínuas, como peso, densidade, etc., seguirem a lei de Weber-Fetchner significa que nosso cérebro pode processar avaliações de proporcionalidades entre os constituintes dessas categorias, as quais, se eventualmente dispostas em uma linha numérica, que siga o efeito SNARC (Spatial Numerical Association of Response Code), e simbolizadas por números (ou frações), constituiria o mecanismo cognitivo que processaria tanto as magnitudes geométricas como outras magnitudes igualmente contínuas.

Aleotti (et.al.) investigaram, em 2019, pela primeira vez o efeito SNARC ao longo dos três eixos cartesianos. Suas descobertas podem ser interpretadas como uma evidência em favor de três linhas de número mental independentes, uma para cada eixo (ou seja, horizontal, vertical e sagital). Fundamentaram suas conclusões mostrando que seus experimentos encontraram evidências do efeito SNARC ao longo dos três eixos, o que permitiria a avaliação de proporcionalidades em um espaço tridimensional (Almeida, 2021).

Mostra que o cérebro tem uma capacidade de processar números tridimensionalmente, o que lhe permite acessar áreas, volumes, de avaliar numericamente todo o espaço que nos cerca, nosso *Lebensraum*.

Esses conceitos matemáticos constituem um núcleo mínimo, o *kern*, de conceitos matemáticos vinculados tanto a manter tanto uma homeostase das condições de vida como a continuidade das espécies. Constituem o conjunto mínimo de uma *Urmathematik*, a matemática mais primitiva possível, a matemática original, mas que não é exclusiva do *Hs*, pois outras espécies do reino animal também a compartilham (Almeida, 2011, 2017).

O alemão é uma língua indo-europeia, que faz rico uso de vários prefixos, com os quais modifica, cria ou reconstrói vários termos. O seu prefixo *ur-* designa coisas primeiras, originais, antiquíssimas. Desse modo, podemos denominar a mais antiga matemática possível, seu núcleo gerador, de *Urmathematik* (id.).

Fatores sócio-culturais permitem a agregação à esse núcleo básico de outras habilidades, tais como a recursão, contagem, o reconhecimento de símbolos, aritmética, etc., as quais, devido à plasticidade do cérebro em criar e manter novos conectomas, paulatinamente estruturam a matemática como nós a conhecemos.

Desse modo, os Pirahãs constituem um notável exemplo de como um povo conseguiu sobreviver apenas com os conceitos matemáticos mais elementares possíveis, baseados praticamente na estruturação neurológica de seus cérebros, comum a todos os humanos. Além disso, mostram como fatores culturais podem influenciar profundamente na sua linguagem, no seu conhecimento e no seu modo de vida.

Igualmente confirmam a notável presciência de D'Ambrosio, quando afirmou que a matemática é apenas uma das estratégias preconizadas pelos humanos para garantir a sobrevivência da espécie (D'Ambrosio & Almeida, 2017).

Bibliografia

ALMEIDA, Manoel de Campos. *Pré-história da Matemática & Educação Matemática - Seus Vínculos e Importância Pedagógica*. In: anais X EDUCERE, 2011.

ALMEIDA, Manoel de Campos. JUSTINO, Edson José Rodrigues. *Como o Cérebro Processa a Matemática? - Ensinos da Neurociência para uma Pedagogia Renovada*. Ed.: Manoel de C. Almeida, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/343587412_Como_o_Cerebro_Processa_a_Matematica_Ensinos_da_Neurociencia_para_uma_Pedagogia_Renovada_How_Does_the_Brain_Process_Mathematics_Teachings_of_Neuroscience_for_a_Renewed_Pedagogy>.

ALMEIDA, Manoel de Campos. *O Nascimento da Matemática – A neurofisiologia e a pré-história da Matemática*. São Paulo: Livraria da Física Editora, 2013.

A Matemática na Idade da Pedra. São Paulo: Livraria da Física, 2017b.

A Neurociência e a História das Frações. In: *Revista Brasileira de História da Matemática*, 2020.

A Neurociência e a Introdução da Medida na Geometria. In: *Anais do XIV Seminário Nacional de História da Matemática – XIV SNHM*, Uberaba, MG, 2021.

CASPARI, Rachel; LEE, Sang-Hee. Older age becomes common late in human evolution. In: *PNAS*: July 27, 2004, vol. 101, no 30, 10895-10900. Disponível em www.pnas.org/doi/10.1073/0402857101. Consulta em 07/2012.

CASPARI, Rachel; LEE, Sang-Hee. Is Human Longevity a Consequence of Cultural Change or Modern Biology? In: *American Journal of Physical Anthropology*, 129–512–517, 2006.

D’AMBROSIO, Ubiratan. *Etnomatemática*. São Paulo: Ática, 1993.

D’AMBROSIO, Ubiratan; ALMEIDA, Manoel de Campos. Ethnomathematics and the Emergence of mathematics. In: *The Nature and Development of Mathematics*. New York and London, Routledge, 2017.

EVERETT Daniel L. Cultural Constraints on Grammar and Cognition in Pirahã Another Look at the Design Features of Human Language. In: *Current Anthropology*, Vol. 46, No. 4 (August/October 2005), pp. 621–646. The University of Chicago Press.

FRIEDERICI, Angela D.; BAHLMANN, Jörg; FRIEDRICH, Roland; Makuuchi, Michiru. *The Neural Basis of Recursion and Complex Syntactic Hierarchy*. June

2011. In: *Biolinguistics* 5.1–2: 087–104, 2011.

FITCH, Tecumseh W. 2010. Three meanings of recursion: Key distinctions for biolinguistics. In Richard K. Larson, Viviane Déprez & Hiroko Yamakido (eds.), *The Evolution of Human Language: Biolinguistic Perspectives*, 73–90. Cambridge: Cambridge University Press

GENTNER, Timothy Q.; FENN, Kimberly M.; MARGOLIASH, Daniel. NUSBAUM, Howard C. *Recursive syntactic pattern learning by songbirds*. In: *Nature* 440, 1204–1207. 2006.

HAUSER, Marc D.; CHOMSKY, Noam; FITCH, W. Tecumseh. 2002. *The faculty of language: What is it, who has it, and how did it evolve?* In: *Science* 298, 1569–1579.

TECUMSEH, Fitch; HAUSER, W. & Marc D.. 2004. *Computational constraints on syntactic processing in a nonhuman primate*. In: *Science* 303, 377–380.

WYNN, T.; COOLIDGE, F. L.; *The expert Neandertal mind*. In: *Journal of Human Evolution*, 46, 467-487. (2004).

WYNN, T.; COOLIDGE, F. L. *The evolution of working memory*. In: Presses Universitaires de France: L'Année psychologique; 2020/2 Vol. 120 | pg; 103 – 134.

Manoel de Campos Almeida

Departamento de Matemática – PUPR – Curitiba -
Brasil

E-mail: manoel1748@gmail.com