



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E CIENTÍFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICAS**

FABIO COLINS DA SILVA

**ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA NA
SÍNDROME DE WILLIAMS-BEUREN: uma abordagem a
partir de pesquisas em Neurociência Cognitiva**

**BELÉM-PA
2020**

FABIO COLINS DA SILVA

ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA NA SÍNDROME DE
WILLIAMS-BEUREN: uma abordagem a partir de pesquisas em
Neurociência Cognitiva

Defesa de tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas – Área de concentração Educação Matemática.

Linha de Pesquisa: Percepção Matemática, Processos e Raciocínios, Saberes e Valores.

Orientador: Dr. Tadeu Oliver Gonçalves.

BELÉM-PA
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

- C696e COLINS, FABIO
Ensino e aprendizagem de matemática na síndrome de Williams-Beuren : uma abordagem a partir de pesquisas em neurociência cognitiva / FABIO COLINS. — 2020.
144 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas, Instituto de Educação Matemática e Científica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
1. Ensino. 2. Aprendizagem. 3. Formação de Professores. 4. Neurociência. 5. Síndrome de Williams-Beuren. I. Título.

CDD 370

FABIO COLINS DA SILVA

ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA NA SÍNDROME DE
WILLIAMS-BEUREN: uma abordagem a partir de pesquisas em
Neurociência Cognitiva

Defesa de tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas do Instituto de Educação Matemática e Científica da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do título de Doutor em Educação em Ciências e Matemáticas – Área de concentração Educação Matemática.

Linha de Pesquisa: Percepção Matemática, Processos e Raciocínios, Saberes e Valores.

Belém-PA, 28 de fevereiro de 2020.

Prof. Dr. Tadeu Oliver Gonçalves – PPGECEM/UFPA (Presidente/Orientador)

Profa. Dra. Terezinha Valim Oliver Gonçalves – PPGECEM/UFPA (Examinador Interno)

Prof. Dr. João Bento Torres Neto – PPGECEM/UFPA (Examinador Interno)

Profa. Dra. Soraia Valéria de Oliveira Lameirão – IEMCI/UFPA (Examinador Externo)

Prof. Dr. Marcos Guilherme Moura Silva – IEMCI/UFPA (Examinador Externo)

COLINS, Fabio. **ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA NA SÍNDROME DE WILLIAMS-BEUREN**: uma abordagem a partir de pesquisas em Neurociência Cognitiva. 2020. 144f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas – PPGECM). Universidade Federal do Pará. Belém, 2020.

RESUMO

As pesquisas em Neurociência Cognitiva apontam evidências que podem colaborar para as práticas didático-pedagógicas relacionadas ao ensino de matemática para alunos com discalculia (KAUFMANN; VON ASTER, 2012; LENT, 2018; HAASE, DORNELES, 2018). É nesse contexto que a presente pesquisa tem como objetivo investigar o efeito do Treino Computadorizado de Habilidades Matemáticas sobre o desenvolvimento da Cognição Numérica (senso numérico, processamento numérico e cálculo) em um estudante adulto com Síndrome de Williams-Beuren. Esta síndrome causa transtorno específico da aprendizagem matemática e compromete habilidades relacionadas aos domínios da Cognição Numérica, segundo modelo do código triplo proposto por Dehaene (1995; 1999; 2001). Tratou-se de uma pesquisa de abordagem qualitativa do tipo estudo de caso. O participante foi avaliado nos três domínios da Cognição Numérica em dois momentos distintos (pré-teste e pós-teste) por meio de um protocolo de rastreio da discalculia, o PROMAT. Para melhorar o desempenho nas habilidades matemáticas foi utilizado a intervenção digital *Dybuster Calcularis*, um treinamento sistematizado e consecutivo realizado por um período de 12 semanas. Os relatórios gerados pela intervenção apontaram benefícios expressivos em diversas habilidades, tais como a estimativa da magnitude simbólica e não simbólica; a estimativa súbita de numerosidade; a estimativa de adição de conjuntos de pontos sem contá-los; o desenvolvimento da contagem oral crescente e decrescente; a produção e a compreensão numérica; a linha numérica; o valor posicional e cálculo de adição e de subtração com até dois dígitos. No entanto, os resultados não foram expressivos em habilidades relacionadas ao conhecimento de procedimentos de cálculo de multiplicação e de divisão com até dois dígitos e a evocação de fatos aritméticos. Por fim, a pesquisa possibilitou refletir sobre a importância de organizar um *Designer de Atendimento Educacional Individualizado* a partir de evidências de estudos em Neurociências Cognitivas.

Palavras-chave: Neurociência Cognitiva. Cognição Numérica. Síndrome de Williams. Formação de Professores. Educação Matemática.

COLINS, Fabio. **TEACHING AND LEARNING MATHEMATICS IN WILLIAMS-BEUREN SYNDROME: an approach based on research in Cognitive Neuroscience.** 2020. 144f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemáticas – PPGECM). Universidade Federal do Pará. Belém, 2020.

ABSTRACT

Research on Cognitive Neuroscience points to evidence that may contribute to didact-pedagogical practices related to the teaching of mathematics for students with dyscalculia (KAUFMANN; VON ASTER, 2012; LENT, 2018; HAASE, DORNELES, 2018). It is in this context that this research aims to investigate the effect of Computerized Mathematical Training on the development of Numerical Cognition (numerical sense, numerical processing and calculus) in an adult student with Williams-Beuren Syndrome. This syndrome causes specific disorder of mathematical learning and compromises skills related to the domains of Numerical Cognition, according to the triple code model proposed by Dehaene (1995; 1999; 2001). This was a qualitative approach research of the case study type. The participant was evaluated in the three domains of Numerical Cognition at two different times (pretest and posttest) using a dyscalculia screening protocol, PROMAT. To improve performance in mathematical skills, the *Dybuster Calcularis* digital intervention was used, a systematic and consecutive training performed for a period of 12 weeks. The reports generated by the intervention pointed to significant benefits in several skills, such as the estimation of symbolic and non-symbolic magnitude; the sudden estimate of numerosity; the estimation of adding sets of points without counting them; the development of increasing and decreasing oral counting; production and numerical understanding; the number line; the positional value and addition and subtraction calculation with up to two digits. However, the results were not expressive in skills related to knowledge of multiplication and division calculation procedures with up to two digits and the evocation of arithmetic facts. Finally, the research allowed us to reflect on the importance of organizing an Individualized Educational Care Designer based on evidence from studies in Cognitive Neuroscience.

Keywords: Cognitive Neuroscience. Numerical Cognition. Williams Syndrome. Teacher Training. Mathematical Education.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Regiões neurais envolvida na aprendizagem da Matemática	16
Figura 2: Regiões cerebrais envolvidas na aprendizagem da numerosidade	17
Figura 3: Tarefa de processamento de magnitude simbólica	22
Figura 4: Tarefa de fato numérico com desenvolvimento de estratégias	23
Figura 5: Áreas cerebrais especializadas na numerosidade	26
Figura 6: Lobos dos hemisférios cerebrais	28
Figura 7: Tarefa de linha numérica mental	30
Figura 8: Áreas do córtex parietal inferior	34
Figura 9: Classificação das dificuldades de aprendizagem matemática	36
Figura 10: Lobo parietal responsável pelo processamento de números	38
Figura 11: Modelo Abstrato Modular para Cognição Numérica	42
Figura 12: Esquema do experimento de Karen Wynn	45
Figura 13: Organização funcional da Cognição Numérica	47
Figura 14: Tarefa de estimativa da magnitude não simbólica	48
Figura 15: Esquema da aprendizagem matemática inicial	49
Figura 16: Tarefa de Linha Numérica	51
Figura 17: <i>Timeline</i> do itinerário investigativo	58
Figura 18: Atividades de compreensão numérica desenvolvidas pelo participante durante o AEE	69
Figura 19: Atividades de produção numérica desenvolvidas pelo participante durante o AEE	69
Figura 20: Participante no Atendimento Educacional Especializado	70
Figura 21: Item do subtteste de Representação Numérica	72
Figura 22: Item do subtteste de Fatos Numéricos Básicos	73
Figura 23: Tarefa de processamento numérico	76

Figura 24: Certificado para o uso do <i>Dybuster Calcularis</i>	77
Figura 25: Jogo pouso certoiro	77
Figura 26: Jogo régua de cálculo	78
Figura 27: Teste de Linha Numérica	82
Figura 28: Teste de Transcodificação Numérica	83
Figura 29: Teste de Transcodificação Numérica	84
Figura 30: Teste de Fato Aritmético Básico	86
Figura 31: Tarefa de Representação Simbólica da Magnitude	110
Figura 32: Resultados da tarefa de Linha Numérica	111
Figura 33: Organização Curricular da Finlândia	125
Figura 34: Estrutura do <i>Designer de Atendimento Educacional Individualizado</i> ...	128

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Rendimento do participante no Pré-Teste	82
Gráfico 2: Rendimento do participante nas tarefas do Senso Numérico	93
Gráfico 3: Rendimento do participante nas tarefas de Processamento Numérico .	95
Gráfico 4: Rendimento do participante nas tarefas de Linha Numérica	97
Gráfico 5: Rendimento do participante nas tarefas de Reta Numérica	98
Gráfico 6: Rendimento do participante nas tarefas de cálculo de adição (sem limite de tempo)	101
Gráfico 7: Rendimento do participante nas tarefas de cálculo de subtração (sem limite de tempo)	103
Gráfico 8: Rendimento do participante nas tarefas de Evocação de Fatos Aritméticos	104
Gráfico 9: Rendimento geral do participante nas tarefas do <i>Dybuster Calcularis</i> ..	105
Gráfico 10: Rendimento do participante no Pós-Teste	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Organização das sessões de avaliação neurocognitiva	81
Quadro 2: Tarefa de senso numérico	85
Quadro 3: Teste de conhecimento de procedimento e estratégia de cálculo	87
Quadro 4: Teste de conhecimento de procedimento de cálculo	88
Quadro 5: Teste de estratégia de cálculo	90
Quadro 6: Tarefas de transcodificação numérica	114
Quadro 7: Desempenho do participante na aprendizagem de cálculo	117

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1: ASPECTOS NEUROCOGNITIVOS DA APRENDIZAGEM MATEMÁTICA NA SÍNDROME DE WILLIAMS	13
1.1 Neurociência Cognitiva para a Educação Matemática	14
1.2 Aprendizagem Matemática na Síndrome de Williams-Beuren	27
1.3 Discalculia na Síndrome de Williams	34
1.4 Teorias da Cognição Numérica	41
CAPÍTULO 2: ITINERÁRIOS DA INVESTIGAÇÃO	57
2.1 O contexto da pesquisa	62
2.2 O Estudo de Caso	65
2.3 O teste neurocognitivo PROMAT	71
2.4 A intervenção digital Dybuster Calcularis	74
CAPÍTULO 3: RESULTADOS, DISCUSSÕES E EVIDÊNCIAS DA PESQUISA	79
3.1 Resultados e discussões do pré-teste	80
3.2 Resultados e discussões da intervenção digital	91
3.3 Resultados e discussões do pós-teste	106
CAPÍTULO 4: UMA PONTE ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA	119
4.1 Educação Matemática Baseada em Evidências Neurocientíficas	120
4.2 Designer de Atendimento Educacional Individualizado	127
CONSIDERAÇÕES FINAIS	136
REFERÊNCIAS	140
ANEXO – PARECER DO CEP	144

INTRODUÇÃO

Nesta pesquisa parte-se do pressuposto de que a aprendizagem pode ser considerada o elemento central entre os estudos da Neurociência Cognitiva e os estudos da Educação Matemática (BRIDI-FILHO; BRIDI, 2016). Nesse sentido, tem-se como objetivo *investigar o efeito do Treino Computadorizado de Habilidades Matemáticas sobre o desenvolvimento da Cognição Numérica (senso numérico, processamento numérico e cálculo) em um estudante adulto com Síndrome de Williams-Beuren.*

A discussão teórica sobre o neurodesenvolvimento da Cognição Numérica pauta-se, principalmente, no modelo do Código Triplo de Dehaene e seus colaboradores (1995; 1999; 2001). Além disso, discute-se a discalculia na Síndrome de Williams-Beuren (HAASE; SANTOS, 2015), sobretudo, a dificuldade na representação numérica, nos fatos aritméticos básicos e na resolução de problemas matemáticos orais e escritos.

A metodologia da investigação está organizada a partir de uma abordagem qualitativa. A pesquisa trata de um estudo de caso único, pois a Síndrome de Williams-Beuren (doença rara que compromete o desenvolvimento neurocognitivo da aprendizagem matemática) ocorre em uma estimativa de 1/20.000 crianças nascidas vivas (ROBINSON; TEMPLE, 2015), além disso seu diagnóstico necessita de uma equipe multidisciplinar (neurologista, geneticista, psicólogo, psicopedagogo etc.) e por isso inviabiliza, no contexto desta pesquisa, um estudo de caso múltiplo.

O modelo é experimental do tipo pré-teste, intervenção e pós-teste. Para a realização do pré-teste e do pós-teste foi utilizado o protocolo avaliativo da Cognição Numérica, ou seja, o teste de desempenho das habilidades matemáticas PROMAT, de uso não restrito a psicólogos e a neurocientistas. A intervenção deu-se a partir do Treino Computadorizado *Dybuster Calcularis*. Um instrumento de intervenção neurocognitiva construído para uso com sujeitos com discalculia do desenvolvimento.

A tese dar-se em torno do pressuposto de que um estudante com Síndrome de Williams-Beuren pode compensar seu desempenho aritmético e, com isso, melhorar o neurodesenvolvimento da Cognição Numérica, se submetido à intervenção e ao acompanhamento individualizado em longo prazo.

O texto está organizado em quatro partes. Na primeira parte discute-se sobre os aspectos neurocognitivos da aprendizagem matemática na síndrome de Williams-Beuren. Busca também trazer resultados de pesquisas na área da Neurociência Cognitiva e as possibilidades de articulação com a Educação Matemática. Esclarece ainda as regiões cerebrais comprometidas pela síndrome investigada e o tipo de discalculia. Modelos teóricos da Cognição Numérica também são discutidos no capítulo 1.

Na segunda parte do texto, a epistemologia da pesquisa é fundamentada com base em aspectos da investigação qualitativa de cunho experimental. Além disso, apresenta-se o contexto da pesquisa (o atendimento educacional especializado) e o caso estudado. As ferramentas utilizadas para a construção das informações geradas a partir do pré-teste e do pós-teste são explicadas e justificadas. O capítulo finaliza com a apresentação e discussão da intervenção digital, ou seja, um treinamento sistematizado e consecutivo que aborda habilidades fundamentais dos domínios que estruturam a Cognição Numérica.

Na terceira parte, os resultados e discussões da avaliação neurocognitiva e da intervenção são analisados na perspectiva qualitativa, pois esta pesquisa busca também articular os achados dos estudos neurocientíficos com os questionamentos oriundos da Educação Matemática, sobretudo, a aprendizagem de estudantes com disfunções na Cognição Numérica.

Na parte final do texto, são apresentadas e discutidas as contribuições da pesquisa para o campo da Educação Matemática e da Educação Especial. Uma reflexão sobre a importância de articular as pesquisas em Neurociência Cognitiva para o processo de ensino e aprendizagem de matemática escolar. Ou seja, a ideia subjacente empreitada nessa parte do texto é oferecer aos professores que ensinam matemática possibilidades de compreender os mecanismos neurais responsáveis pela aprendizagem das habilidades matemáticas para que reorganizem suas práticas didático-pedagógicas.

A seguir, a aprendizagem matemática, a discalculia na síndrome de Williams e a Cognição Numérica são discutidas com base em pesquisas da Neurociência Cognitiva.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS NEUROCOGNITIVOS DA APRENDIZAGEM MATEMÁTICA NA SÍNDROME DE WILLIAMS-BEUREN

[...] Os números, assim como outros objetos matemáticos, são estruturas neurais cujas origens se encontram na adaptação do cérebro humano às regularidades do universo.

Stanislas Dehaene, 2001.

Compreender os processos evolutivos da aprendizagem matemática tem sido um dos interesses da Neurociência Cognitiva. Nesse contexto, elementos relacionados ao processo de contagem, à produção e compreensão numérica e aos fatos aritméticos básicos, têm sido discutidos pesquisados por neurocientistas preocupados com o processo de aprendizagem da matemática. Diferentes estudos (JOLLES, 2016; LENT, 2018; HAASE e DORNELES, 2018) têm tentado combinar métodos neurocientíficos às práticas educacionais a fim de tentar responder a questões relacionadas, sobretudo, aos transtornos específicos da aprendizagem.

A Neurociência Cognitiva passou a ser uma ferramenta de compreensão de aspectos relacionados ao processo de aprendizagem da matemática. É importante o educador matemático ter conhecimento sobre as habilidades matemáticas prejudicadas pela discalculia, sobre as síndromes que causam transtorno na aprendizagem matemática e sobre as possibilidades de intervenção neurocognitiva.

Nesse capítulo são discutidos de que maneira as pesquisas em neurociências podem contribuir para temas relacionados às pesquisas em Educação Matemática; em Cognição Numérica e em Discalculia na Síndrome de Williams-Beuren.

1.1 Neurociência Cognitiva para a Educação Matemática

A neurociência enquanto ciência que estuda o neurodesenvolvimento do sistema nervoso central em diversos aspectos (psicológico, biológico, cultural e emocional), se dedica em investigar as bases cerebrais do funcionamento cognitivo. Como um ramo dentro da neurociência, a Neurociência Cognitiva estuda “os mecanismos dos sistemas neurais mais complexos, associados às funções mentais superiores tais como a linguagem, a memória, a atenção e as representações mentais” (FIORI, 2006, p. 14). Por isso, as pesquisas no âmbito da Neurociência Cognitiva podem contribuir para a compreensão das mudanças neurocognitivas relacionadas à aprendizagem matemática, além de conceber intervenções que possam favorecer o desenvolvimento de ações pedagógicas na escola.

Podemos entender também que a Neurociência Cognitiva é uma ciência interdisciplinar, pois envolvem psicólogos, neurocientistas, biólogos e filósofos. Essas associações de conhecimentos contribuem de forma significativa para compreensão do funcionamento cognitivo do ser humano (FIORI, 2006), e assim permitindo dialogar com diversas áreas, como por exemplo, a Educação Matemática.

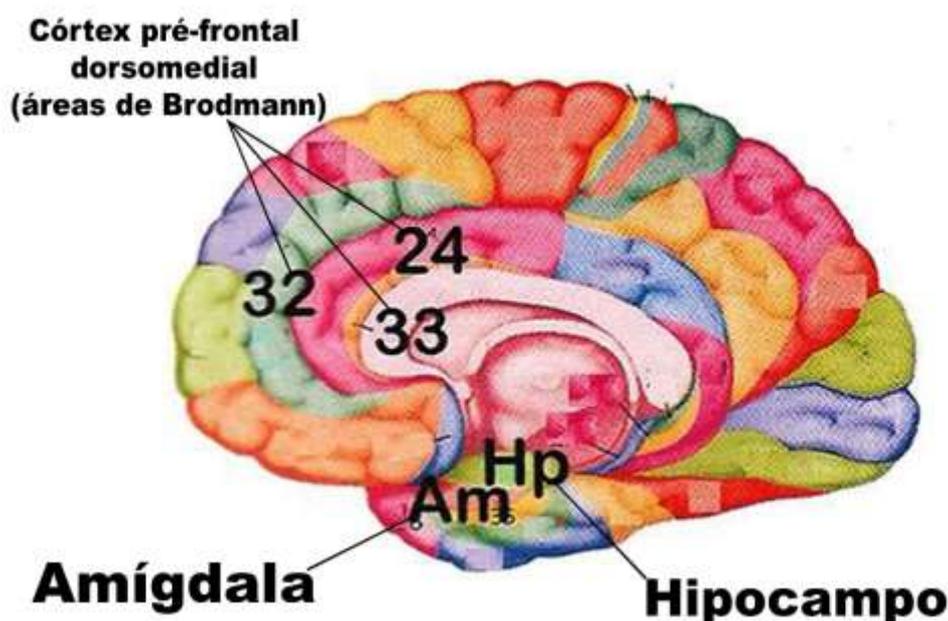
Para Lent (2018), a Neurociência Cognitiva também dialoga com a neuropsicologia. “É claro que os limites entre essas disciplinas não são nítidos, o que nos obriga a saltar de um nível a outro, ou seja, de uma disciplina a outra, sempre que tentamos compreender o funcionamento do sistema nervoso” (LENT, 2018, p. 6). O importante é que essas áreas das neurociências podem contribuir eficazmente para o estudo dos aspectos neurocognitivos da aprendizagem matemática, cada uma na sua especificidade.

Desse modo, a Neurociência Cognitiva, por meio de suas pesquisas, estabelece uma relação entre as estruturas cerebrais e a cognição que podem contribuir para a educação de modo que os professores possam refletir sobre a sua prática pedagógica. Um exemplo dessa contribuição está no fato de educadores terem a oportunidade de melhor compreender, via resultados de pesquisas em Neurociência Cognitiva, os transtornos específicos da aprendizagem. Isso possibilita identificar estilos individuais de aprendizagem e organizar práticas pedagógicas mais específicas.

Para Haase e Dorneles (2018), as pesquisas em Neurociência Cognitiva podem ajudar os professores a entender os processos de construção do conhecimento matemático facilitando a organização do ensino. Um exemplo dado pelos autores concerne no fato de o professor que ensina matemática saber que o processo de contagem, principalmente usando os dedos, ativam regiões anteriores do sulco intraparietal. Esse conhecimento pode auxiliá-lo professor na construção de atividades relacionadas ao processamento numérico simbólico, pois ao invés de solicitar que os alunos façam atividades de copiar de 1 até 1000, poderia propor situações em que os estudantes precisem compreender a estrutura e o funcionamento do sistema de numeração decimal e posicional.

Sobre as habilidades matemáticas, Haase e Dorneles (2018) indicam na figura 1 os padrões de ativação observados em crianças durante a aprendizagem das operações aritméticas e o processo de automatização de fatos aritméticos. Essas atividades cerebrais são semelhantes em pesquisas realizadas com adultos. No entanto, algumas diferenças de automatização em crianças e adultos foram percebidas. Por exemplo, o recrutamento de fatos aritméticos em crianças ativa áreas cerebrais temporárias da região do hipocampo, representado pela sigla Hp na figura 1.

Figura 1: Regiões neurais envolvidas na aprendizagem da Matemática



Fonte: Haase e Dorneles, 2018

De acordo com a figura 1, o hipocampo (Hp) é uma estrutura situada bilateralmente na superfície medial e ventral do lobo temporal. Essa região cerebral está envolvida em diversas funções cognitivas, sobretudo, “com a memória associativa” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 158). Em relação à aprendizagem matemática, o Hp é ativado quando o aluno é colocado diante de uma situação problema que envolve fatos aritmético. Isso quer dizer que o Hp desempenha o papel de vincular padrões de associação entre problemas matemáticos e respostas consolidadas na memória de longo prazo.

A amígdala (Am) é a outra região cerebral envolvida no processo de Cognição Numérica. Ela é responsável pela regulação emocional da aprendizagem da aritmética (HAASE; DORNELES, 2018). Isso implica afirmar que os alunos com ansiedade à matemática têm essa área cerebral ativada com mais frequência. Assim, a ansiedade à matemática ativa a Am e causa um efeito inibitório sobre as estruturas corticais responsáveis pelo processamento cognitivo. “Há evidências de que mecanismos de regulação emocional implementados pela amígdala influenciam o funcionamento de outras estruturas cerebrais envolvidas no processamento numérico” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 143).

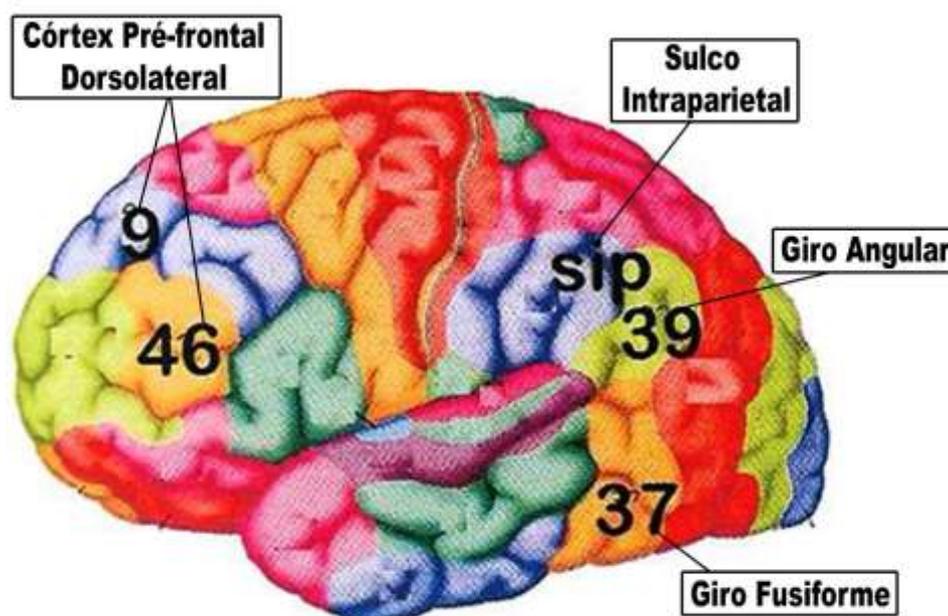
Percebe-se que a Am exerce um papel importante no processo de aprendizagem matemática, pois envolve aspectos relacionados à emoção e à

afetividade. Isso pode implicar no processamento da aprendizagem emocional. No contexto da Cognição Numérica, a amígdala pode, diante de uma situação de ansiedade matemática, suprimir a atividade cognitiva relacionado à memória de trabalho, ao processamento estratégico e ao senso numérico.

As regiões do córtex pré-frontal dorsomedial anterior corresponde às áreas de Brodmann 24, 32 e 33 (HAASE; DORNEELS, 2018). Elas têm papel importante na regulação emocional e cognitiva. Essas regiões, no contexto da aprendizagem matemática, exercem a função de monitorar a execução de algoritmos aritméticos, ou seja, controlar o desenvolvimento de um cálculo, além de auxiliar no processamento de contagem e na transcodificação numérica. Os alunos com disfunções neurocognitivas nessas regiões podem apresentar, durante a execução de um algoritmo, “padrões de erro atencional observados frequentemente em indivíduos com Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 157).

Outras áreas cerebrais estão envolvidas na aquisição das habilidades relacionadas à aprendizagem matemática. A figura 2 destaca o papel das regiões intraparietais.

Figura 2: Regiões cerebrais envolvidas na aprendizagem da numerosidade



Fonte: Haase e Dorneles, 2018

Conforme a figura 2, é no sulco intraparietal (sip) que ocorre a representação simbólica e não simbólica aproximadas de numerosidade, mesma região onde

também ocorre ativação neural quando os estudantes executam cálculos aritméticos, pois “há evidências neurofisiológicas de que as áreas sensoriomotoras relacionadas com os dedos são ativadas de modo implícito durante o procedimento de contagem” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 134). Essas informações tornam-se relevantes aos docentes ao romper com o mito de que contar nos dedos é sinônimo de não saber matemática.

A área 37 de Brodmann é responsável pela representação dos numerais indo-arábicos. Região cerebral conhecida como Giro Fusiforme (LENT, 2018). No contexto da aprendizagem matemática, ela funciona no reconhecimento de algarismos e na leitura e escrita de números. Isso implica na aprendizagem semântica da numerosidade, ou seja, responsável pelo significado de um algarismo. Por exemplo, ajuda na compreensão de que o numeral cinco nos números 125 e 152 assume valores distintos.

Regiões do Giro Angular, área 39 de Brodmann, são ativadas durante tarefas de representações dos numerais verbais e de recrutamento de fatos aritméticos (LENT, 2018). Haase e Dorneles (2018, p. 156) afirmam que “essa área amadurece, do ponto de vista das conexões corticais, por volta de 6 ou 7 anos de idade”. Essa informação pode auxiliar os professores na organização de atividades envolvendo as quatro operações fundamentais da matemática. Por outro lado, nos faz refletir sobre a organização do currículo de matemática para os anos iniciais do Ensino Fundamental, pois espera-se que o estudante até o final de oito anos de idade consolide habilidades relacionadas a adição e a subtração, além de aprender fatos aritméticos da multiplicação e da divisão, sem o uso de algoritmos tradicionais.

As áreas 9 e 46 de Brodmann estão localizadas no Córtex pré-frontal dorsolateral e são responsáveis pela “memória de trabalho e estratégias” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 138). Segundo os autores, são regiões cerebrais que implicam no processamento de habilidades cognitivas mais sofisticadas, tais como o pensamento estratégico, o raciocínio lógico e a resolução de problemas.

No contexto da aprendizagem da matemática, Haase e Dorneles (2018, p. 156) afirmam que:

O córtex pré-frontal dorsolateral é ativado nas etapas iniciais da aprendizagem de praticamente todas as habilidades matemáticas, refletindo a demanda por processamento controlado na memória de trabalho. Essa região desempenha importante papel na emergência das representações

numéricas simbólicas, isto é, associação de representação de numerosidade com sistemas simbólicos, tais como algarismos ou numerais verbais.

Conforme afirmaram os autores, as atividades neurais do córtex pré-frontal dorsolateral são importantes na execução de algoritmos aritméticos e na transcodificação numérica. Por isso, os estudantes com discalculia que apresentam disfunções neurocognitivas nessa região cerebral podem cometer falhas na execução de algoritmos de contagem. Saber disso pode auxiliar o professor na criação de estratégias que contribuam para que os alunos com discalculia apreendam fatos aritméticos básicos. Por exemplo, solicitar o estudo das regularidades matemática que constam em uma tabuada de multiplicação.

Para Haase e Dorneles (2018) as pesquisas em Neurociência Cognitiva enfrentam muitos desafios ao que se refere contribuir para a educação das crianças, seja ele de ordem epistemológica – pois as teorias de aprendizagem fundamentam-se principalmente nas ideias construtivistas, resistentes às contribuições das ciências cognitivas – ou de ordem metodológica. Uma possibilidade de enfrentamento desses desafios consiste em um amplo e profundo trabalho de análise conceitual e conciliação entre neurociências e educação.

Nesse contexto, o estudo desenvolvido por Jolles *et al* (2016) com crianças dos anos iniciais de escolarização pode ser considerado relevante para uma possível conciliação entre neurociências e educação, pois por meio de um tutorial computadorizado de cognição numérica adaptado mostrou a possibilidade de melhorar a aprendizagem dos estudantes em matemática. Nessa pesquisa, foi investigado a plasticidade em circuitos funcionais associados ao sulco intraparietal e ao giro angular com diferentes papéis na Cognição Numérica.

Pesquisas dessa natureza podem parecer inviáveis para a serem utilizadas nas escolas brasileiras, onde a realidade mostra o pouco investimento em tecnologias de comunicação e informação, mas seus resultados podem orientar os professores na compreensão do processo de aprendizagem matemática e na organização de atividades que estimulem áreas cerebrais que possam estar comprometidas em virtude de alguma patologia, por exemplo a Síndrome de Williams.

Desse modo, a aprendizagem matemática, para a Neurociência Cognitiva, é compreendida como um processo que envolve conexões que se estabelecem em diversas dimensões, sejam elas neuronais ou interacionais; sejam da ordem do

conhecimento objetivo ou dos efeitos subjetivos. Isso se dá nas adaptações necessárias para enfrentar as situações vividas na escola ou no cotidiano. Assim, ao reconhecer que o sujeito que aprende é um ser de múltiplas constituições e possibilidades, os estudos da Neurociência Cognitiva podem contribuir para as pesquisas no campo da Educação Matemática.

Mas o que as pesquisas em neurociência têm apontado sobre *como os números estão representados no cérebro e como essas representações mudam ao longo do aprendizado e do desenvolvimento neurocognitivo*? Estudos de Lyons e Ansari (2015), afirmam que nas últimas três décadas têm ocorrido um aumento significativo nas pesquisas empíricas de representação e processamento numérico em seres humanos e isso implica positivamente para uma possível ponte entre as duas ciências.

Para a Neurociência Cognitiva o ato de aprender não é considerado como uma simples ação psicomotora, mas se trata de um processo cognitivo complexo que (BRIDI FILHO; BRIDI, 2016) depende das funções corticais superiores, tais como: ler, falar, calcular e escrever. Nestes termos, leitura, escrita e cálculo, por exemplo, são as formas mais complexas de aprendizagem simbólica, pois envolve noção de espaço, de tempo e de esquema corporal. Por isso, ao longo do tempo, o processo de aprendizagem – da matemática e da linguagem – inquietou estudiosos a compreender *como, onde e por que se aprende*.

Haase e Dorneles (2018) afirmam que os estudos das neurociências demonstram que as situações que nos deparamos diariamente as quais precisamos recorrer às habilidades matemáticas como anotar o número de um telefone, ler o extrato bancário, marcar o tempo, realizar contagem e cálculos mentalmente e ler horas vão marcar o desenvolvimento da aprendizagem matemática, seja no contexto escolar por meio da educação formal ou informalmente nos diversos contextos sociais.

Um trabalho de revisão (PETERS; SMEDT, 2017) sobre o desenvolvimento da aprendizagem matemática na perspectiva da Neurociência Cognitiva mostrou que a aprendizagem aritmética envolve uma organização hierárquica por meio de trajetórias de desenvolvimento, nas quais cada aquisição é condicionada a desenvolvimentos anteriores.

Para estes autores, antes do início da escolarização formal, as crianças usam a contagem para resolver adições simples. Essas estratégias de contagem servem

inicialmente como suporte para executá-las, como a manipulação de objetos ou os dedos como recurso para contar. E progressivamente, executam essas ações sem auxílio externo (contagem verbal). Com o tempo e com as situações vivenciadas, a eficiência destas estratégias de contagem aumenta rapidamente, onde passam a contar todos os elementos de um conjunto, na sua totalidade, sem apontar um a um.

O estudo apontou, ainda, que “o uso repetido dessas rotinas de contagem permite que as crianças desenvolvam associações entre as situações problemas e suas respostas e entre os problemas e os fatos aritméticos armazenados na memória de longo prazo” (PETERS; SMEDT, 2017, p. 4). Na perspectiva da Neurociência Cognitiva, a estratégia de recorrência aos fatos aritméticos básicos é mais eficiente e requer menos memória de trabalho do que os procedimentos cognitivos mais exigentes como os relacionados à contagem. Além disso, diminui a carga cognitiva e a probabilidade de vir a cometer erros.

A aprendizagem matemática por meio da recorrência aos fatos aritméticos permite que os alunos usem procedimentos de decomposição em operações do tipo $7 + 8$. Por exemplo, podem decompor essa situação em $7 + 3 = 10$, $10 + 5 = 15$ (PETERS; SMEDT, 2017). Estas estratégias de decomposição geralmente ocorrem na adição de valores maiores que dez e, evidentemente, em cálculos de vários dígitos. Essa estratégia geralmente é mais utilizada nas operações de adição e subtração, mas pouco utilizadas nas multiplicações, no qual o estudante recorre aos fatos aritméticos com mais frequência. Para os autores, isso ocorre porque as multiplicações são tipicamente aprendidas por meio das tabuadas de operações do que por meio de processos de decomposição, como frequentemente ocorre nos casos de adição e subtração.

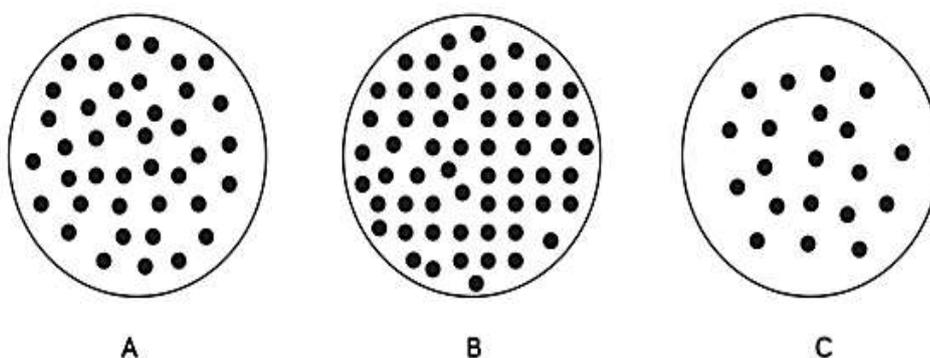
Os autores chamam atenção para o fato de que as operações de adição e multiplicação possuem uma mesma propriedade operativa, a comutação. Assim, destacam que a multiplicação e a adição são operações comutativas (por exemplo, $6 \times 4 = 4 \times 6$, da mesma forma que $6 + 4 = 4 + 6$), em contraste com a divisão e a subtração. Esta comutatividade pode facilitar a formação de associações de resposta a problemas armazenados na memória de longo prazo para multiplicação e adição, pelo que são mais frequentes na resolução de problemas por meio da recuperação de fatos aritméticos (PETERS; SMEDT, 2017).

Em um estudo anterior ao relatado (ROBINSON *et al*, 2006), pesquisadores afirmaram que o desenvolvimento dessas estratégias é progressivo, mas que não

são eliminadas para o surgimento de outras. Então, não há uma substituição abrupta das estratégias utilizadas nas situações de aritmética, mas sim uma distribuição das possibilidades de enfrentamento das operações propostas. Para os autores, elas permanecem disponíveis ao longo do desenvolvimento neurocognitivo, preservando-se mesmo até a idade adulta, “mas que a frequência em seu uso muda em diferentes momentos da vida, principalmente devido estratégias mais eficientes, como a recuperação de fatos aritméticos, tornando-se mais dominante” (ROBINSON *et al*, 2006, p. 228). Sendo que essas mudanças também são acompanhadas de alterações das atividades cerebrais.

Uma pesquisa de Vanbinst *et al* (2015) mostrou que a capacidade de processar grandezas numéricas ocasiona alterações das atividades cerebrais. Tais mudanças estão relacionadas ao córtex transversal, área responsável pelo processamento de magnitudes numéricas simbólicas. A figura 3 ilustra uma situação problema relacionada ao processamento de magnitude simbólica.

Figura 3: Tarefa de processamento de magnitude simbólica



Fonte: Weinstein, 2016.

Nesta tarefa o estudante precisa estimar a quantidade (magnitude numérica simbólica), sem contar, de pontos que mais se aproxima do número vinte. O estudo de Vanbinst *et al* (2015) mostrou evidências de que nesse tipo de exercício o processamento de magnitude numérica simbólica é fundamental para o desenvolvimento aritmético, pois as observações realizadas pelos pesquisadores, por meio de exames de neuroimagem, possibilitaram inferir que o sulco intraparietal permaneceu consistentemente ativo sempre que as crianças calculavam por meio de estimativa. Desse modo, quando uma pessoa realiza tarefas de cálculo uma grande rede cerebral é ativada.

Arsalidou e Taylor (2011) realizaram outro estudo com adultos por meio de exames de neuroimagem que revelaram que o córtex parietal posterior bilateral, o córtex pré-frontal inferior e superior e as regiões occipitotemporais são ativadas com mais frequência nas atividades de aritmética. Para os autores, “a atividade nesta rede é modulada pela operação aritmética, pelo uso de estratégias de cálculo distintas, por *expertise* e treinamento” (ARSALIDOU; TAYLOR, 2011, p. 289).

Esta pesquisa (ARSALIDOU; TAYLOR, 2011) mostrou também que o aumento das atividades neurais nas regiões corticais laterais está associado às funções cognitivas auxiliares cruciais durante o processamento de cálculo, como a memória de trabalho; o controle inibitório e a atenção. Tais funções são recrutadas com mais frequência quando o sujeito se depara com situações problemas mais complexas, principalmente em tarefas quando a resposta não pode ser recuperada da memória de longo prazo, conforme ilustrado na figura 4.

Figura 4: Tarefa de fato numérico com desenvolvimento de estratégias

$$77 + 13 =$$

Fonte: Weinstein, 2016.

Nesta tarefa o sujeito precisa estratégias para solucionar com precisão cálculos aritméticos por meio de cálculo mental, apoio digital ou lápis e papel. Assim, as funções cognitivas auxiliares são recrutadas, tais como memória de trabalho e atenção. Dessa forma, esses estudos ajudam a compreender que são as estratégias utilizadas pelo sujeito que modula a rede neural responsável pelas habilidades aritméticas e não a operação matemática (adição, subtração, multiplicação e divisão).

Nesse sentido, essas pesquisas em Neurociência Cognitiva possibilitam esclarecimentos de como as atividades cerebrais mudam de acordo com as funções da aprendizagem matemática. Essas informações são cruciais para compreendermos as alterações neurocognitivas relacionadas com o desenvolvimento das habilidades aritméticas e para subsidiar a prática docente.

Estudos dessa natureza possibilitam aos professores refletir sobre as aulas de matemática na Educação Básica. Na escolarização formal, por exemplo, as

crianças são desafiadas a mobilizar diversas competências matemáticas, como contar numerais; escrever algarismos; representar quantidades abstratas; realizar cálculo de adição, de subtração, de multiplicação, de divisão e aprender frações. No entanto, antes dessas aprendizagens é necessário compreender o significado dos números e suas funções e isso ocorre em dois níveis aritméticos, o não simbólico e o simbólico.

O nível aritmético não simbólico está relacionado com a forma de captarmos e combinarmos a cardinalidade aproximada, ou seja, um conjunto composto por elementos concretos tais como conjunto de imagens e coleção de objetos. No que se refere ao nível aritmético simbólico, está relacionado com a escrita, leitura e organização dos algarismos no sistema de numeração, no nosso caso, indo-arábico (DEHAENE, 2009).

No entanto, o conhecimento aritmético básico é essencialmente não simbólico, pois a disponibilidade de símbolos numéricos varia de uma cultura para outra e surge um pouco mais tarde no desenvolvimento cognitivo das habilidades matemáticas (DEHAENE, 2009). Por outro lado, os símbolos numéricos, quando disponíveis para uma determinada cultura – ainda existem culturas que não possuem representação simbólica para os números, por exemplo, a etnia indígena *Kayapó*¹ – se tornam importantes na correspondência com as representações não simbólicas.

Em 2004, na Amazônia, Dehaene e colaboradores, investigaram a etnia Mundurucu e o resultado desta investigação apontou que esses indígenas possuem palavras para números até cinco. As crianças e os adultos possuíam uma excelente capacidade para discriminar conjuntos com quantidades diferentes, ou mesmo realizar adições e subtrações com valores numéricos até cinquenta. Esta pesquisa mostrou que os seres humanos possuem um sistema neural básico para estimar quantidades, mesmo na ausência de uma educação formal e de uma linguagem matemática sofisticada.

Desse modo, a aprendizagem do número se dá inicialmente em nível não simbólico, até mesmo crianças muito pequenas conseguem distinguir pequenas quantidades (DEHAENE, 2009), embora não compreendam palavras que identificam

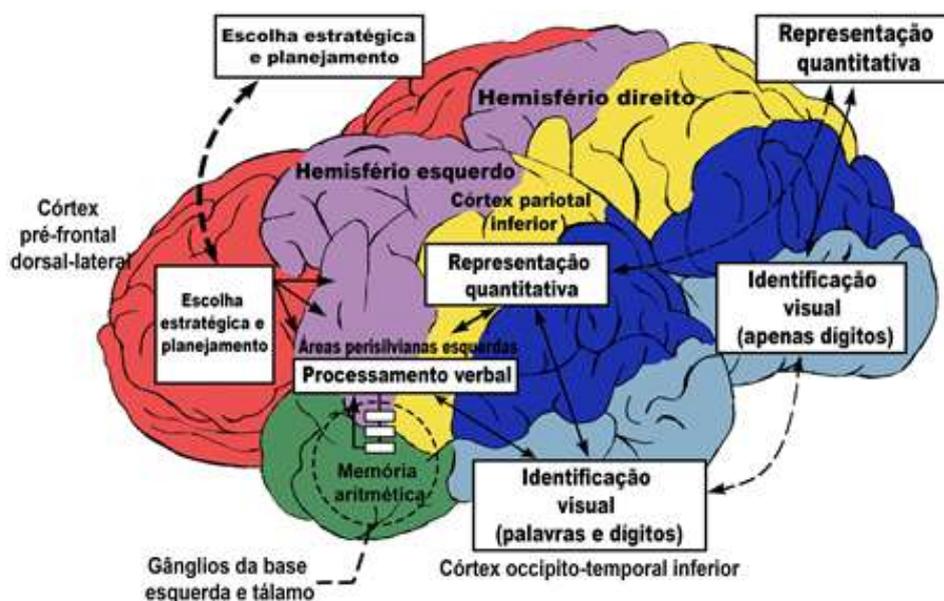
¹ Em visita técnica à aldeia Kayapó em 2015, percebi que essa etnia não tinha uma representação simbólica para os números, além disso, só contam até quatro, se for uma quantidade maior contam “muito”. Os Kayapó têm escola na aldeia, mas estudam somente o sistema de numeração indo-arábico.

os números, ou mesmo símbolos indo-arábicos. Essas ideias fundamentais sobre os números permeiam desde a infância até a fase adulta, por exemplo, alunos da Educação Infantil e adultos podem identificar com rapidez qual conjunto de elementos tem maior quantidade mesmo sem contar verbalmente.

Mas quais áreas do cérebro estão envolvidas quando uma pessoa recorre às habilidades matemáticas? Pesquisas com a utilização de neuroimagem (DEHAENE, MOLKO, COHEN, WILSON, 2004; SANTOS, 2017; HAASE, JÚLIO-COSTA, SANTOS, 2015) apontam que o processamento do número verbal, por exemplo, ocorre em regiões cerebrais a partir das áreas perissilvianas da linguagem do hemisfério esquerdo mais especificamente, no giro angular. Por outro lado, nas áreas temporo-parieto-occipitais bilaterais ocorre o processamento dos números em sua representação indo-arábica, com maior frequência no giro fusiforme. Essa área do cérebro, o giro fusiforme, é especializada para cálculos, reconhecimento numérico e leitura, além disso, também é responsável pela percepção facial e reconhecimento de objetos (WEINER; ZILLES, 2017).

Dehaene (2011), em pesquisas sobre a numerosidade, mostrou que a representação de uma quantidade na forma 5 ou “cinco” ocorrem em regiões cerebrais distintas, no entanto, as funções neurocognitivas para comparar se 5 é maior do que 4, não depende da forma como estão representados, seja em algarismos indo-arábicos ou na forma escrita por extenso. Portanto, a compreensão do significado de número está distribuída em diversas áreas cerebrais, conforme indicadas na figura 5.

Figura 5: Áreas cerebrais especializadas na numerosidade



Fonte: Adaptado de Dehaene, 2011.

A figura 5 ilustra as áreas cerebrais envolvidas no processamento numérico. É possível observar que ambos os hemisférios ativam áreas neurais responsáveis por conhecimentos sobre estratégia de escolhas e planejamentos; identificação visual dos algarismos e representação de quantidades. No entanto, o hemisfério esquerdo é especializado na representação linguística de números, no processamento verbal e uma memória verbal para fatos aritméticos básicos.

Diante do esquema das redes neurais relacionadas com a aprendizagem matemática não é possível afirmar que uma pessoa utiliza os mesmos circuitos neuronais para ler o dígito 10 e a palavra “dez”, pois o reconhecimento visual apesar de estar situado em ambos hemisférios cerebrais, em uma região chamada de córtex occipital-temporal inferior é altamente fragmentado em subsistemas especializados (DEHAENE, 2011). Além disso, na parte posterior do hemisfério esquerdo diferentes categorias de imagens podem ser reconhecidas visualmente, por exemplo, imagem de palavras, de números árabes, de fisionomias e objetos. E uma lesão na região occipital-temporal, por exemplo, pode prejudicar somente a identificação visual de palavras e, conseqüentemente, desenvolver a Síndrome de Alexia sem disgrafia².

² Síndrome de Alexia sem disgrafia é uma disfunção na região cerebral do occipital-temporal que prejudica a leitura de palavras, mesmo tendo a compreensão da linguagem falada conservada. Sem disgrafia porque pacientes com essa lesão podem escrever palavras e frases corretamente, apesar de não poder ler sua própria escrita, apenas segundos depois de ter escrito (DEHAENE, 2011).

Nesse contexto, percebe-se que a Neurociência Cognitiva é relevante e promissora para a compreensão do processo de aprendizagem de estudantes com Transtornos Específicos da Aprendizagem Matemática ou discalculia ocasionado por disfunções neurológica ou genética.

1.2 Aprendizagem Matemática na Síndrome de Williams-Beuren

A Síndrome de Williams (SW) é uma disfunção genética rara ocasionada por uma microdeleção, uma pequena perda do DNA do braço longo do cromossomo 7, resultando na interrupção do gene de elastina, o que leva a alterações nas paredes vasculares, no pulmão, no intestino e na pele (BASTOS, 2016). Sua incidência, que sofre variação em diversos países, é de 1 criança a cada 20 mil nascidas vivas (ROBINSON; TEMPLE, 2015).

A pessoa com SW pode ser reconhecida por exame facial, pois também são conhecidos como face de Elfo por ter morfologia facial distinta. Além disso, desenvolve problemas cardíacos, problemas renais e comprometimento na dentição.

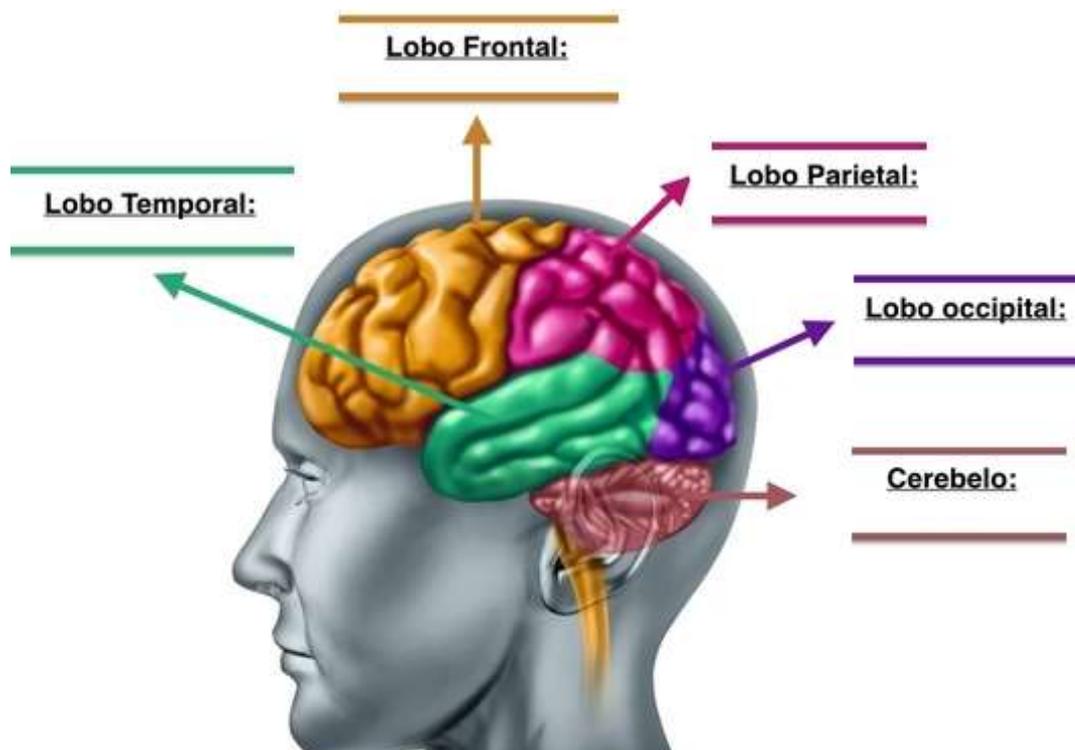
Conforme os estudos de Heinze e colaboradores (2005), esta síndrome foi descoberta clinicamente em 1962 pelo médico geneticista J.C.P. Williams. Em suas pesquisas percebeu que os sujeitos acometidos por essa síndrome apresentavam uma disfunção genética no par 7 de cromossomos acometidas pela ausência de cerca de 21 genes. Dentre eles, estavam os genes responsáveis pela produção de elastina (fibras elásticas).

Para os autores, a síndrome compromete as funções executivas superiores relacionadas à lectoescrita e à matemática. Por exemplo, aspectos relacionados ao desenvolvimento motor, linguístico, visuoespacial e numéricos. Heinze *et al* (2005) afirmam que um aspecto clínico importante está relacionado com a morfologia cerebral, pois o cérebro na SW é diferente, geralmente é menor.

Segundo Heinze *et al* (2005), áreas cerebrais mapeadas por exames neuroimagem mostraram-se menores, enquanto outras são mais desenvolvidas de maneira desproporcional. As regiões do lobo parietal, por exemplo, é uma das maiores e mais importantes áreas cerebrais, pois é uma área de integração onde passa boa parte da informação do restante das regiões cerebrais. É nela que está situado o córtex parietal inferior, constituído pelo giro angular (área 39 de Brodmann) e o giro supramarginal (área de Brodmann 40) que, no contexto da aprendizagem

matemática, desempenham papéis relacionados ao resgate de fatos aritméticos e representação numérica simbólica. A figura 6 destaca os lobos cerebrais.

Figura 6: Lobos dos hemisférios cerebrais



Fonte: Adaptado de Machado, 2014.

De acordo com a figura 6, o menor lobo é o occipital. Machado (2014, p. 63) afirma que o “lobo occipital ocupa uma porção relativamente pequena da face súpero-lateral do cérebro, onde apresenta pequenos sulcos e giros inconstantes e irregulares”. Por exemplo, o giro fusiforme (área 37 de Brodmann) é responsável pelo processamento de expressões faciais e pelo reconhecimento de algarismos. Segundo o autor, essa região está, direta ou indiretamente, relacionada com a visão.

Por outro lado, as áreas do lobo frontal que estão relacionadas com o desenvolvimento da personalidade e as áreas do lobo temporal que são importantes para a audição são mais desenvolvidas (HEINZE *et al*, 2005). O córtex pré-frontal dorsolateral (áreas de Brodmann 9 e 46), por exemplo, está situado no lobo frontal e desempenha importante papel na “emergência das representações numéricas simbólicas, isto é, associação de representações de numerosidade com sistemas simbólicos” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 157) e implica afirmar que tem a função no reconhecimento de algarismos.

Como discutido, são diversas as regiões cerebrais responsáveis pelo desenvolvimento das habilidades matemáticas. Nesse contexto, os estudantes que

apresentam algum transtorno da aprendizagem matemática podem ter comprometimento cognitivo em habilidades matemáticas específicas, tais como o senso numérico, o processamento numérico e o cálculo. Cada prejuízo da cognição numérica depende da região cerebral afetada.

Um estudo desenvolvido por O'Hearn e Landau (2008) com alunos do Ensino Fundamental com diagnóstico de Síndrome de Williams-Beuren apontou, no que concernem os aspectos cognitivos, que a linguagem parece ser a habilidade menos afetada do que as habilidades relacionadas a aritmética. Com isso, a pesquisa possibilitou inferir, por meio de exames de neuroimagem, que áreas do lobo temporal são menos prejudicadas, pois são nas regiões temporais que estão os componentes da formação da linguagem.

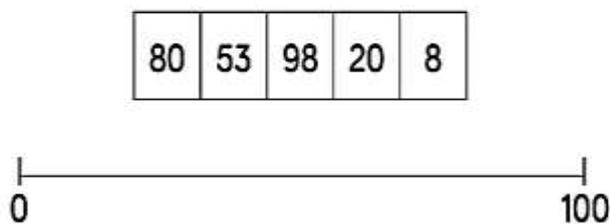
O mesmo estudo indicou que áreas do lobo frontal são mais prejudicadas, por exemplo, disfunções neurocognitivas em áreas do córtex pré-frontal implicam no baixo desempenhos nas seguintes tarefas: evocação de fatos aritméticos, representação simbólica verbal, estratégias de cálculo, estimativa numérica e comparação de quantidades.

O'Hearn e Landau (2008) afirmam que poucos estudos têm sido desenvolvidos para verificar as habilidades matemáticas conservadas e prejudicadas na SW. O estudo concluiu que as pessoas com SW apresentaram sucesso nas habilidades relacionadas à leitura de números e insucesso em tarefas relacionadas à linha numérica mental. Para os autores, os resultados sugerem que os sujeitos com SW têm dificuldade particulares em tarefas que exigem habilidades da linha numérica, um prejuízo que provavelmente reflete disfunções da Cognição Numérica nas áreas parietais. A linha numérica tem sido associada à atividade em áreas parietais que supostamente são responsáveis pela representação espacial, mais explicitamente áreas no sulco intraparietal (O'HEARN; LANDAU, 2008).

Um exemplo de tarefas relacionadas à linha numérica mental pode ser visto na figura 7.

Figura 7: Tarefa de linha numérica mental

Escreva os números, do menor para o maior, na linha de 0 a 100.



Fonte: Weinstein, 2016.

De acordo com O'Hearn e Landau (2008), o baixo rendimento nas tarefas de linha numérica mental resulta de disfunções nas estruturas do fluxo dorsal do lobo parietal superior e do lobo occipital (áreas de Brodmann 17, 18 e 19), mas esse prejuízo pode ser compensado por meio de intervenções que busquem diferentes estratégias, incluindo as verbais, que apoiem a compreensão da linha numérica.

Outro estudo desenvolvido por Landau *et al* (2014) sobre o Sistema Numérico Aproximado (SNA) apontou que a aprendizagem numérica na síndrome de Williams é muito complexa, pois os prejuízos nas habilidades matemáticas podem ser severos. Tarefas de contagem regressiva em uma escala de 20 a 0 pode ser muito difícil para uma pessoa SW. Outra habilidade simples, mas prejudicada, é o princípio da cardinalidade, isto é, compreender que o último número na sequência de contagem representa a quantidade de itens contados em um conjunto. Os pesquisadores afirmaram que

[...] a natureza do comprometimento numérico na síndrome de Williams mostra que tarefas relacionadas à linguagem matemática são realizadas com mais sucesso, enquanto as tarefas relacionadas à representação simbólica da magnitude numérica que não dependem da linguagem são mais difíceis de serem executadas com sucesso (LANDAU *et al*, 2014, p. 909).

Esta pesquisa possibilitou compreender que estudantes com SW têm mais dificuldade em comparar algarismos arábicos escritos e em desenvolver atividades relacionadas à linha mental (por exemplo, julgar quem está mais próximo de cinco, dois ou sete). Entretanto, apresentam mais facilidade para recuperar fatos aritméticos básicos quando submetidos às tarefas verbais.

Dessa forma, a investigação realizada por Landau *et al* (2014) indicou que as pessoas com SW apresentam fortes evidências de comprometimento neurocognitivo das habilidades matemáticas. Por exemplo, em uma tarefa de estimativa de quantidade apresentaram mais dificuldades para comparar conjuntos com número

de elementos mais distantes do que conjuntos numericamente de valores mais próximos. Assim, é mais fácil discriminar oito pontos de dezesseis do que cinco de sete. Por isso, um adulto com SW apresenta muita dificuldade em “colocar um numeral arábico em sua posição apropriada em uma linha numérica escrita” (LANDAU et al, 2014, p. 910). Além disso, o estudo indicou que as pessoas com SW têm pouca habilidade para comparar rapidamente quantidade de elementos de distintos conjuntos apresentadas visualmente.

Uma investigação desenvolvida por Landau e Hoffman (2012) com jovens com idades entre 19 e 21 anos mostrou que as pessoas com SW apresentam um desenvolvimento gradual e lento nos aspectos linguísticos e matemáticos e que se torna uma característica normal dessa síndrome. Assim, as estruturas cognitivas que deveriam ter sido desenvolvidas durante a infância ocorrem somente durante a adolescência e fase adulta.

Para as autoras, outras funções cognitivas que normalmente precisam de maior de tempo para se desenvolver (devido o lento processo de amadurecimento neurocognitivo na SW) nunca atingem a maturidade esperada por causa da estabilização de toda a aprendizagem durante a adolescência. Essa hipótese apontada pelas pesquisadoras permitiu afirmar que o sistema numérico aproximado é severamente comprometido na SW ocasionado pelo lento desenvolvimento, pois pessoas adultas apresentam idade cognitiva em matemática comparada a de uma criança com conduta típica de sete anos de idade (LANDAU; HOFFMAN, 2012).

Landau e Hoffman (2012) concluem a pesquisa afirmando que o comprometimento das funções cognitivas relacionadas sistema numérico aproximado pode prejudicar a construção de fatos aritméticos básicos (adição, subtração, multiplicação e divisão). Essa característica não é exclusiva da SW, pois pessoas sem SW que apresentam condutas da discalculia do desenvolvimento têm baixa precisão de sistema numérico aproximado. Assim como podem ser aplicados a outros transtornos específicos da aprendizagem matemática na síndrome de Turner e a síndrome do X-frágil. Com base nesses achados, as autoras afirmam que “para todos esses casos, uma questão-chave para estudos prospectivos é se as funções cognitivas básicas (incluindo as representações do sistema numérico aproximado) podem ser melhoradas pelo treino precoce” (LANDAU; HOFFMAN, 2012, p. 237).

Outra habilidade matemática prejudicada pela SW é a magnitude numérica e foi comprovado em um estudo desenvolvido por Rousselle, Dembour e Noël (2013)

onde o prejuízo da representação da magnitude numérica foi investigado em pessoas com SW e indicou que aspectos da magnitude numérica foram comprometidos. Os autores afirmaram em sua pesquisa que

[...] as anomalias na síndrome de Williams são de caráter funcionais e neuroestruturais particularmente proeminentes no fluxo dorsal, especialmente no córtex parietal e no sulco intraparietal. Essas regiões do cérebro foram apontadas como *locus* de ativações durante o processamento espacial, temporal e numérico (ROUSSELLE; DEMBOUR; NOEL, 2013, p. 03).

Com base nessa pesquisa, pode-se inferir que as pessoas com SW apresentam risco de déficit de processamento de grandezas numéricas e grandezas espaciais. Sobre a magnitude espacial na SW, os estudos de Rousselle, Dembour e Noël (2013) mostraram comprometimento cognitivo nessa habilidade, no entanto, poucas pesquisas têm dado importância para esse aspecto. As habilidades de magnitude espacial envolvem a discriminação de espaço, de segmentação, de percepção de orientações e deslocamento, de perspectivas, de coordenação visuomotora, de planejamento, de monitoramento e de controle executivo.

As pessoas com SW mostram dificuldade em tarefas visuoperceptiva e em tarefas de movimentação e localização a partir de vários pontos de referências. Em estudo de revisão sobre a magnitude espacial (ROUSSELLE; DEMBOUR; NOEL, 2013) percebeu-se que o processamento perceptual da dimensão espacial unidimensional (ou seja, comprimento ou altura) e o déficit do processamento da magnitude temporal nunca tinham sido estudados de forma sistemática na SW.

Sobre a magnitude temporal na SW, os autores afirmam que as representações temporais são preservadas, principalmente, quando são relacionadas à percepção musical. Essa competência depende do tempo multidimensional e das habilidades de processamento sonoro, por exemplo, a percepção de sons (duração, afinação, timbre e intensidade), a frequência sonora (número de sons/unidade de tempo) e o ritmo (detecção de repetição de sequências sonoras). Por isso, as pessoas com SW são mais musicais (ROUSSELLE; DEMBOUR; NOEL, 2013).

Rousselle, Dembour e Noël (2013) afirmam que um adolescente com diagnóstico de SW pode estagnar suas competências para o cálculo correspondente ao de uma criança de sete anos de idade. No que se refere ao desenvolvimento aritmético, por exemplo, “alguns adultos com SW conseguem verificar com precisão adições e multiplicações de um dígito (menos de 20% de erros) correspondentes às

crianças de terceiro ou quarto anos do Ensino Fundamental” (ROUSSELLE; DEMBOUR; NOEL, 2013, p. 04) e que para cálculos de subtração e divisão não apresentam o mesmo desempenho aritmético.

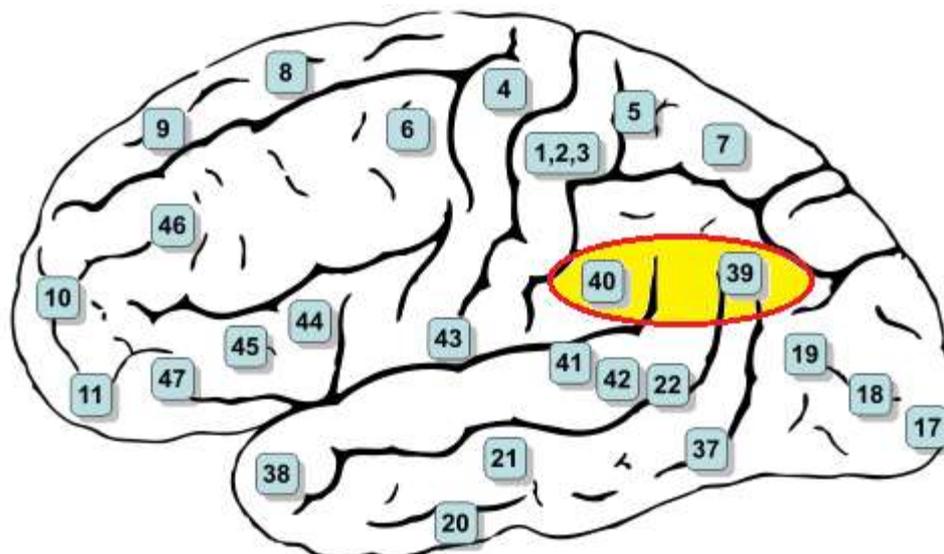
Nesse contexto, aprender a comparar números (magnitude numérica) é um desafio para o aluno com SW, por exemplo, ter que escolher entre 3 e 8 qual deles está mais próximo de 5. Essa limitação também se dá para números de dois dígitos. Por outro lado, apresentam melhor desempenho nas tarefas de leitura de números arábicos, sugerindo, dessa forma, que as habilidades matemáticas verbais podem ser desenvolvidas na síndrome de Williams mais do que o normal.

Sobre os conhecimentos geométricos (visuoespaciais) na SW, podemos enfatizar a importância de um trabalho direcionado para as dimensões espaciais básicas, para em seguida, avançar na compreensão das disfunções visuoespaciais mais complexas. Para Rousselle, Dembour e Noël (2013) o prejuízo que as pessoas com SW apresentam no processamento da magnitude numérica pode ser recorrente do comprometimento do processamento da magnitude visuoespacial. Esse *déficit* também pode comprometer o processamento numérico não simbólico, mas os autores alertam para a importância de desenvolver estudos que observem como as pessoas com SW lidam com tarefas de numerosidades em outras modalidades sensoriais e que isso poderia contribuir para melhor avaliar a especificidade das dificuldades com processamento de magnitude numérica.

Rousselle, Dembour e Noël (2013) concluem seus estudos afirmando que se fazem necessárias mais pesquisas de rastreamento longitudinal com o objetivo de estabelecer relações neurocognitivas entre as habilidades de magnitudes numéricas, espaciais e temporais que poderiam afetar o desenvolvimento numérico e não numérico. Assim, os *déficits* de processamento de magnitude na SW não são específicos do domínio numérico, pois se estende às magnitudes espaciais e temporais, pois são todos controlados por um sistema de magnitude comum que está localizado no córtex parietal inferior (áreas de Brodmann 39 e 40). Da mesma forma, não são específicos da SW, pois acometem pessoas com síndrome de Turner, por exemplo.

A figura 8 ilustra as principais regiões cerebrais (áreas de Brodmann 39 e 40) envolvidas no processamento da magnitude numérica e espacial.

Figura 8: Áreas do córtex parietal inferior*



Fonte: Adaptado de Carter e Gray, 2008.

*Superfície lateral do hemisfério cerebral esquerdo, vista de lado.

Rousselle, Dembour e Noël (2013) afirmam que conhecer as regiões cerebrais ativadas em tarefas de magnitude numérica podem auxiliar para compreender outras habilidades aritméticas relacionadas a aquisição de contagem e cardinalidade em pessoas com SW. Além disso, verificar até que ponto estão relacionadas com a competências matemáticas mais avançadas tais como acuidade numérica e não numérica.

Portanto, essas pesquisas podem auxiliar na compreensão das condutas típicas da discalculia manifestadas em pessoas com a SW.

1.3 Discalculia na Síndrome de Williams

O que acontece quando após anos de escolarização um aluno não consegue desenvolver as habilidades matemáticas? Quais fatores contribuem para essa não aprendizagem? Esses e outros questionamentos perpassam por essa investigação, porém, são diversas as terminologias dadas para se referir às pessoas com baixo rendimento aritmético e ainda não existe uma classificação universal, embora haja na literatura diversas propostas. Assim, nesta pesquisa foi utilizado o termo discalculia como sinônimo de Dificuldade Aritmética (DA).

Para Bastos (2016) a discalculia compromete as funções cerebrais complexas como o processamento verbal ou gráfico da informação matemática, percepção visuoespacial, reconhecimento e produção de números, representação numérica simbólica e não simbólica e fatos aritméticos básicos. Portanto, para o autor

[...] a discalculia é uma dificuldade em aprender matemática, com falhas para adquirir adequada proficiência nesse domínio cognitivo, a despeito de inteligência normal, oportunidade escolar, estabilidade emocional e necessária motivação. Cerca de 3% a 6% das crianças com idade escolar tem discalculia (BASTOS, 2016, p. 181).

Segundo Bastos (2016), esse transtorno específico da aprendizagem matemática também é ocasionado por disfunções neurocognitivas nos dois hemisférios cerebrais. Um dos prejuízos consiste na incapacidade em conceituar quantidades numéricas mesmo que reconhecendo os símbolos numéricos.

Para Kaufmann e Von Aster (2012), a discalculia é definida como dificuldade em adquirir habilidades aritméticas básicas e que não é ocasionada por baixa inteligência ou escolarização inadequada. Os autores afirmam que cerca de 5% dos alunos dos anos iniciais de escolarização apresentam condutas típicas da discalculia. No entanto, destaca a importância de ações de intervenção, pois os prejuízos da discalculia podem ser compensados.

Os autores alertam para o fato de que muitas crianças e adolescentes com discalculia apresentam a disfunção da Cognição Numérica associada com o comprometimento da memória de trabalho e de habilidades visuoespaciais. Além disso, cerca de 20% a 60% das pessoas com a discalculia têm outras comorbidades relacionadas, por exemplo, a dislexia ou transtorno de déficit de atenção (KAUFMANN; VON ASTER, 2012).

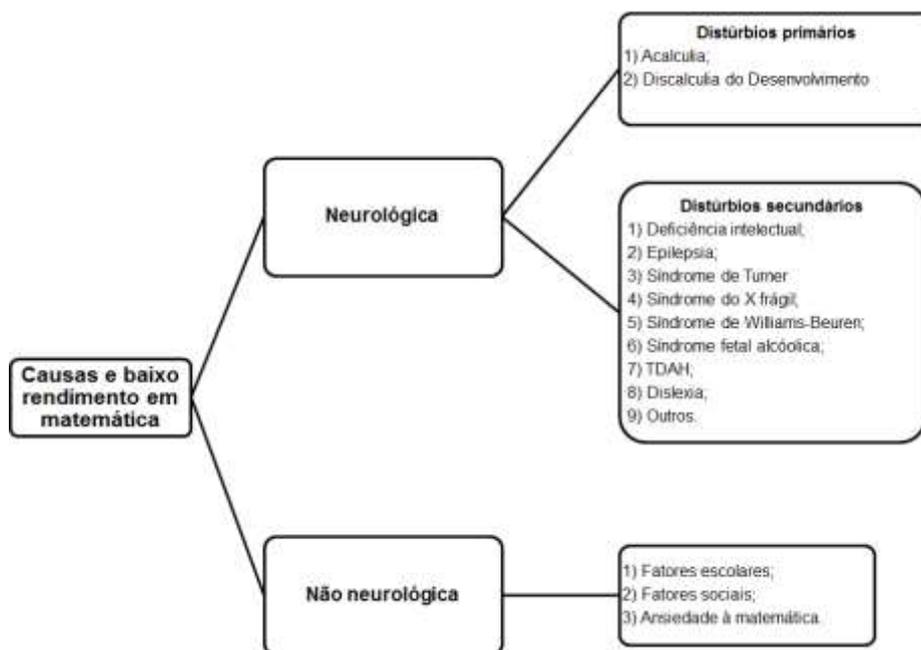
Os pesquisadores destacam a importância do diagnóstico e do tratamento precoce. “A identificação precoce e o tratamento da discalculia são muito importantes em vista de sua associação frequente com outros transtornos específicos da aprendizagem e do comportamento” (KAUFMANN; VON ASTER, 2012, p. 770). As pessoas com a discalculia necessitam de uma avaliação diagnóstica completa, neuropsicologicamente orientada, que tenha em conta a complexidade da discalculia e os seus múltiplos fenótipos, podendo assim fornecer uma base para o planejamento da intervenção eficaz, seja ela clínica ou educacional.

Para Wilson *et al* (2006), a discalculia consiste em uma desordem das habilidades matemáticas que se presume oriundas de comprometimento específico em diversas funções cerebrais responsáveis pela numerosidade. Os autores afirmam que a discalculia se assemelha com as disfunções da lectoescrita, ou seja, a dislexia.

Os pesquisadores afirmam que as pessoas acometidas pela discalculia apresentam atraso precoce na compreensão de alguns aspectos da contagem, na adição de parcelas simples ($4 + 5$) e *déficits* persistentes em memorizar e recordar fatos aritméticos básicos, por exemplo, $3 + 7$ ou 4×5 (WILSON *et al*, 2006). As causas da discalculia podem ser ocasionadas por disfunções genéticas (síndrome de Turner e síndrome de X frágil, por exemplo), assim como fatores como consumo alcoólico durante a gravidez.

A discalculia também pode ser combinada com outras comorbidades, tais como dislexia, epilepsia e Transtorno do Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH). A figura 9 ilustra a classificação das dificuldades em matemática, seja por questões neurológicas ou não.

Figura 9: Classificação das dificuldades de aprendizagem matemática



Fonte: Adaptado de Bastos, 2016.

A discalculia ou dificuldade aritmética é uma dificuldade em aprender matemática, com falhas no desenvolvimento da Cognição Numérica. Porém, a pessoa com discalculia desenvolve habilidades em outras áreas do conhecimento (BASTOS, 2016).

As principais dificuldades são: erro na formação de números, que geralmente ficam escritos em forma escalonada; inabilidade para efetuar cálculos simples, como $19 - 11$; dificuldade para evocar fatos aritméticos básicos; limitação na transcodificação numérica, inabilidade para reconhecer sinais operacionais e para

usar separações lineares, dificuldade para ler números com multidígitos, ordenação e espaçamento inapropriado dos números em multiplicações e divisões etc. (BASTOS, 2016).

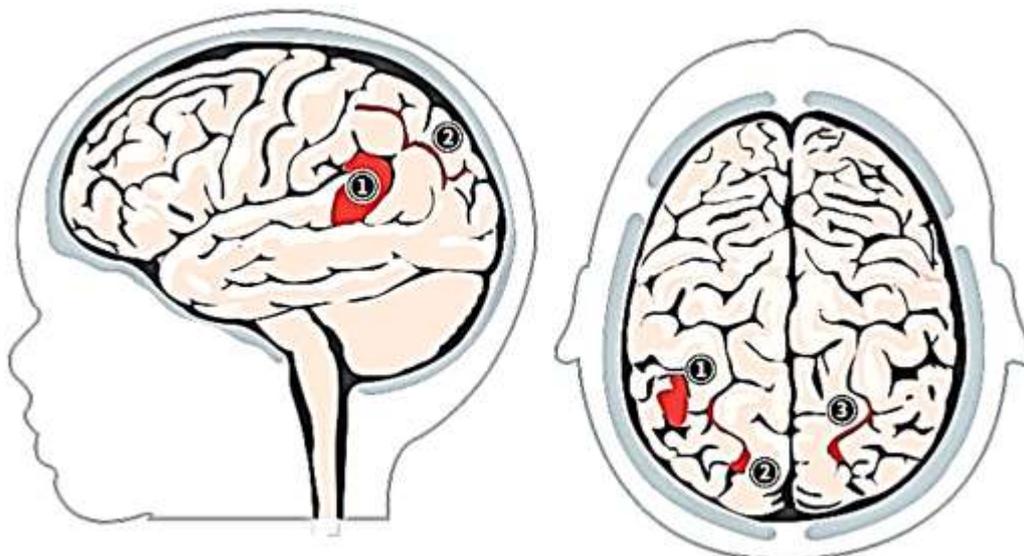
Sobre a discalculia na SW, pesquisadores brasileiros têm desenvolvido estudos sobre a dificuldade aritmética em casos de disfunções genéticas. Para Haase, Júlio-Costa e Santos (2015, p. 164),

[...] as investigações com neuroimagem estrutural mostram comprometimento bilateral das áreas parietais envolvidas no processamento numérico em diversas síndromes genéticas, tais como a síndrome de sítio frágil no cromossomo X, a síndrome de Williams, a síndrome de Turner e a síndrome velocardiocfacial.

Essas síndromes genéticas carregam a discalculia como uma das características dos aspectos cognitivos comprometidos. Para Kaufmann *et al* (2009) a discalculia é uma dificuldade de cálculo severa, apesar do sujeito apresentar capacidade intelectual média e bom nível de escolarização. No entanto, a discalculia não é uma disfunção da Cognição Numérica única, mas pode apresentar distintos perfis de desempenho matemático. Para os autores, a disfunção do processamento de magnitude numérica pode ser o *déficit* cognitivo principal da discalculia.

Conforme Kaufmann *et al* (2009), a discalculia na SW compromete as estruturas parietais onde estão situados os sulcos intraparietais bilaterais e o giro angular esquerdo. Essas regiões cerebrais estão relacionadas com o processamento de números, a magnitude numérica, a linha numérica mental, a comparação de quantidades não simbólicas, o processamento verbal de número e a recuperação de fatos aritméticos básicos. Essas áreas cerebrais prejudicadas pela discalculia podem ser visualizadas na figura 10.

Figura 10: Lobo parietal responsável pelo processamento de números



Fonte: adaptado de Vanbinst, Ansari e Lagae, 2015.

O giro angular esquerdo (1) geralmente é afetado pela discalculia. Assim, uma simples pergunta do tipo: *Quem é maior 2 ou 3?* pode gerar dificuldade para uma pessoa com SW. Outras habilidades podem ser prejudicadas, tais como recuperar rapidamente fatos aritméticos e mapear quantidades de objetos.

O sulco intraparietal esquerdo (2) e o sulco intraparietal direito (3) que são responsáveis pela execução de algoritmos aritméticos estão relacionados com a SW. Tarefas de cálculo e de comparação de quantidades de elementos pertencentes a dois conjuntos distintos são difíceis de serem realizadas por pessoas com diagnóstico de discalculia.

Haase, Júlio-Costa e Santos (2015) afirmam que as tarefas de cálculo (adição, subtração e multiplicação) recrutam áreas dos lobos parietais (superior e inferior) e pré-frontais diferentes. Por exemplo, para adição são as regiões do hemisfério esquerdo; para subtração pode ocorrer tanto ativações do lado esquerdo quanto bilateral; e para a multiplicação prevalece a ativação hemisférica direita. No caso das pessoas com SW, essas áreas são prejudicadas pela síndrome, por isso apresentam dificuldades em cálculos.

Para Luculano *et al* (2015) a discalculia compromete outras áreas cerebrais distintas do córtex parietal. Para os pesquisadores, por meio de estudo de neuroimagem, apontam prejuízos matemáticos em áreas múltiplas. Por exemplo, dificuldades no julgamento visual e reconhecimento de símbolos arábicos são acometidos por causa de disfunções neurocognitivas em regiões do córtex temporal-

occipital ventral, assim como as funções de atenção e memória de trabalho recrutadas em regiões de controle frontoparietal.

Geary (2000) classificou a discalculia em três tipos: a discalculia processual devido uma disfunção executiva e caracterizada por um atraso no desenvolvimento da aquisição de procedimentos de contagem e estratégias para resolver problemas aritméticos simples; a discalculia de memória semântica ocasionada pela disfunção da memória verbal e caracterizada por erros de recuperação de fatos aritméticos básicos. Este tipo de discalculia está diretamente relacionado ao transtorno específico da aprendizagem da lectoescrita (dislexia); por fim, a discalculia visuoespacial.

Em um estudo de revisão, Santos (2007) classifica a discalculia em dois grupos: discalculia primária e discalculia secundária. Para a autora, a discalculia primária ou pura é caracterizada pelo *déficit* exclusivo no sistema da cognição numérica, mesmo o aluno apresentando desenvolvimento cognitivo regular nas outras áreas do conhecimento e ter recebido ensino adequado para sua idade cronológica. “A discalculia do desenvolvimento (DD) primária, por vezes referida como pura ou isolada, constitui-se da minoria de casos de DD, com uma prevalência entre 1% e 2% em crianças escolares” (SANTOS, 2017, p. 75). Dessa forma, a partir de Bastos (2006), poderíamos afirmar que a discalculia pura está associada a fatores neurológicos de aspectos primários, como a acalculia.

No caso da discalculia secundária é “quando as disfunções em numerosidade são suficientemente graves para constituir um diagnóstico de DD e, no entanto, estão acompanhadas de déficits cognitivos não numéricos igualmente graves ou outros transtornos” (SANTOS, 2017, p. 76). Nesse caso, distúrbios secundários como a síndrome de Williams pode ser incluída no quadro de discalculia secundária.

Santos (2017) relata um caso de discalculia associada à dislexia. Nesse estudo, as crianças com dislexia apresentaram disfunções no código numérico verbal, em contraste, as habilidades referentes à compreensão aritmética não foram prejudicadas mostrando a forte relação entre leitura e matemática.

A discalculia afeta as habilidades de resolução de problemas matemáticos, pois a memória de trabalho, a velocidade de processamento e o funcionamento executivo são comprometidos por causa do transtorno (WEINSTEIN, 2016). Para a autora, as pessoas com discalculia apresentam dificuldades acentuadas para

realizar leitura de horas, pois as estratégias de procedimento e de evocação necessárias para leitura de horas fracionadas são prejudicadas.

Uma característica típica da discalculia na síndrome de Williams está relacionada ao processamento de fatos numéricos ou evocação de fatos básicos aritméticos. Assim, apresentam inabilidade em recuperar fatos aritméticos entre dois fatores menores que dez, pois não conseguiram desenvolver métodos eficientes e precisos para calcular e recorrem à contagem nos dedos e rabiscos em folha de papel (WEINSTEIN, 2016).

Em um estudo de neuroimagem realizado por Cho (2011) e seus colaboradores, mostraram que áreas do córtex pré-frontal (evocação de informações) do hipocampo (formação de memória de longo prazo) e do córtex parietal (representação de magnitude numérica) são recrutadas quando os sujeitos são colocados diante de problemas simples de adição. Isso mostra que podem existir distintas evocações de fatos aritméticos e que áreas cerebrais distintas podem ser ativadas para compensar as demais comprometidas pela discalculia.

Os pesquisadores da discalculia (GEARY, 2000; BASTOS, 2006; CHO, 2011; KAUFMANN, VON ASTER, 2012; WEINSTEIN, 2016; SANTOS, 2017;) afirmam que o transtorno da aprendizagem matemática e da lectoescrita são distúrbios comuns que acometem as crianças em princípio de escolarização. Essa realidade faz com que os alunos tenham atitudes negativas em relação à matemática, o que por sua vez, podem desenvolver ansiedade à matemática ou fobia escolar generalizada. A discalculia acompanha a pessoa por toda sua vida e pode prejudicar duradouramente o desenvolvimento da personalidade e da vida profissional.

Para Kaufmann e Von Aster (2012), a discalculia também é uma questão econômica, pois os adultos com disfunções na Cognição Numérica sofrem grande desvantagens no mercado de trabalho. Por isso, os autores sugerem o tratamento precoce da discalculia, ou seja, que na escola, desde a Educação Infantil, os professores e os psicopedagogos fiquem atentos para as dificuldades acentuadas nas habilidades matemáticas, pois isso pode ser sinal de um possível transtorno específico da aprendizagem matemática, no entanto, precisam ter cautela para que não rotulem os alunos como deficientes.

Por fim, mesmo com diversos estudos sobre a discalculia seu diagnóstico não é simples e realizado somente por marcadores biológicos, por esse motivo, as pesquisas dependem também de critérios comportamentais. Para Kaufmann *et al*

(2009), os transtornos específicos da aprendizagem são disfunções do neurodesenvolvimento de origem biológica e com sinais comportamentais. Para a autora, esses sinais comportamentais se expandem consideravelmente além dos problemas de ensino-aprendizagem da matemática, relacionando-se às disfunções da Cognição Numérica.

1.4 Teorias da Cognição Numérica

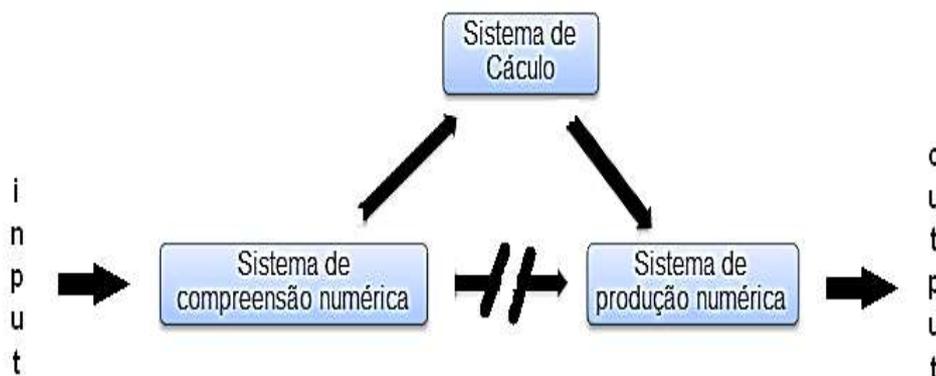
O termo Cognição Numérica (CogN) pode assumir, pelo menos, dois conceitos. Para Cohen-Kadosh e Dowker (2015) a Cognição Numérica pode ser entendida como uma área de investigação interdisciplinar das habilidades numéricas e do processo de aprendizagem da numerosidade (capacidade de quantificar) por pessoas com transtornos específicos da aprendizagem ou com desenvolvimento neurocognitivo típico. Outra perspectiva apontada pelos autores caracteriza a CogN como um conjunto de sistemas neurocognitivos que estruturam a numerosidade, isto é, o senso numérico, o processamento numérico e o cálculo.

Nestes termos, esta pesquisa considera a Cognição Numérica como a aptidão de quantificar, de representar quantidade por meio de processos simbólicos e não simbólicos e de realizar cálculos por meio de processos neurocognitivos adquiridos ou naturais.

Um dos primeiros estudos sobre CogN foi desenvolvido por McCloskey; Caramazza e Basili (1985) a partir de um estudo de caso único. O sujeito investigado apresentava transtorno específico da aprendizagem matemática (discalculia) ocasionado por lesão cerebral e suas habilidades matemáticas foram comparadas com as de pessoas sem comprometimento da CogN. Sua teoria da Cognição Numérica foi intitulada como *Modelo Abstrato Modular*.

Para os autores a CogN consiste na capacidade que o indivíduo possui para entender e produzir números, uma capacidade diferente de realizar cálculos. Dessa forma, o *Modelo Abstrato Modular* (MCCLOSKEY, CARAMAZZA, BASILI, 1985) distingue os sistemas neurocognitivos responsáveis pelo processamento numérico e pelo cálculo. “O sistema de processamento de números engloba os mecanismos para compreender e produzir números, enquanto o sistema de cálculo consiste nos fatos e procedimentos requeridos especificamente para realizá-los” (MCCLOSKEY, CARAMAZZA, BASILI, 1985, p. 172).

Figura 11: Modelo Abstrato Modular para Cognição Numérica



Fonte: adaptado de McCloskey, Caramazza e Basili, 1985.

Pode-se inferir, conforme a figura 11, que o mecanismo de compreensão numérica é distinto do mecanismo de produção numérica. Dessa forma, o sistema de processamento numérico apresenta dois subsistemas, um para processamento de números arábicos (por exemplo, 153) e outro para processamento de números verbais (orais e escritos, por exemplo, *cento e cinquenta e três*).

Esses subsistemas do processamento numérico arábico ou verbal, distingue ainda dois mecanismos relevantes para o desenvolvimento da CogN, são eles: o processamento lexical e o processamento sintático. O lexical envolve a compreensão ou a produção dos numerais individualmente dentro de um número, por exemplo, o algarismo 5 ou a palavra cinco no número 153. O sintático, por outro lado, envolve o processamento de relações entre os numerais para compreender ou produzir um número como um todo, por exemplo, para uma pessoa conseguir entender o número 153, precisaria saber que o numeral cinco equivale cinco dezenas ou cinquenta unidades. Ou seja, que o número 153 significa uma centena, cinco dezenas e três unidades.

Da mesma forma, caso uma pessoa ouvisse outra recitar o número cento e cinquenta e três, recrutaria os mecanismos neurocognitivos lexicais para interpretar os nomes dos números individualmente e os mecanismos sintáticos para compreender números de terceira ordem e construir uma representação semântica do número como um todo.

Para os autores, o subsistema do processamento lexical é formado por um componente de processamento fonológico (responsável por produzir ou compreender os números falados) e outro de processamento gráfico (responsável pela produção ou compreensão de números escritos). Assim, a estrutura

neurocognitiva utilizada para compreender a palavra falada “cinco” é distinta daquela utilizada para processar a palavra escrita *cinco*. No entanto, não há distinção entre os mecanismos da sintaxe do fonema e da sintaxe do grafema, pois ela sintaxe é a mesma para números falados e escritos.

Sobre o sistema de cálculo, os autores afirmam que durante uma tarefa com operações matemáticas (adição, subtração, multiplicação e divisão) o cérebro recorre aos sistemas de compreensão e produção de números (MCCLOSKEY; CARAMAZZA; BASILI, 1985). Dessa forma, uma disfunção no processamento do subsistema dos mecanismos lexicais para a compreensão de números arábicos poderia prejudicar problemas aritméticos apresentados na forma arábica, mas não em problemas apresentados oralmente.

Em outro estudo de caso único, McCloskey e colaboradores (1991) apontaram três componentes para o modelo do sistema de cálculo, tais como: processamento de símbolos operacionais, por exemplo, o sinal + ou a palavra “mais” que identificam a operação de adição; recuperação de fatos aritméticos básicos, por exemplo, fatos tabelados como $3 + 2 = 5$; e execução de procedimentos de cálculo ou algoritmo, por exemplo, saber que para resolver uma adição de números de 3ª ordem é necessário iniciar pela coluna da direita, recuperar fatos aritméticos referentes à soma de cada coluna e registrar o resultado da soma na parte inferior da mesma coluna, caso seja maior que nove, precisa deslocar um número para a casa das dezenas, e assim por diante.

Os autores citam o caso de uma pessoa que sofreu uma lesão cerebral e não conseguia resolver um problema de aritmética escrito, por exemplo, 3×6 . Mas, quando o mesmo problema era oralizado (*três vezes seis*), o sujeito respondia corretamente o resultado. Isso evidenciou que o sistema neurocognitivo do processamento de símbolos operacionais é independente do sistema de recuperação de fatos aritméticos básicos e de execução de procedimentos de cálculo.

Portanto, o Modelo Abstrato Modular postula um sistema neurocognitivo autônomo para o processamento numérico e outro para o processamento de cálculo. Sendo que existem mecanismos distintos para a compreensão e para a produção de números escritos ou oralizados, entre eles estão o mecanismo lexical e o mecanismo sintático. Por fim, um sistema de cálculo composto por processamento de símbolos das operações ou palavras (+, -, multiplicação, divisão), mecanismos de

recuperação de fatos aritméticos e mecanismos para a execução de procedimentos de cálculo.

Outra teoria para a cognição numérica consiste no *Modelo do Código Triplo* proposto por Dehaene e Cohen (1995). Para os autores, a CogN está estruturada neurocognitivamente a partir da existência de três códigos representacionais para números, sendo dois simbólicos e um não simbólico. Uma forma de representação é visual arábica (por exemplo, 2) e a outra forma pode ser verbal auditiva (por exemplo, “dois”) e por fim, uma representação analógica de magnitude não simbólica (por exemplo, I I). Neste modelo, Dehaene e colaboradores (1999) apontam que as operações matemáticas exatas, ou seja, os fatos aritméticos, estão associados à linguagem, o que ele chamou de *código verbal*. Ao cálculo exato de pequenas quantidades, sem necessariamente contar, chamou de *senso numérico* (DEHAENE *et al*, 2004). Por fim, a CogN também é formada por um *código visual*, ou seja, o reconhecimento de algarismos arábicos.

As pesquisas de Dehaene e seus colaboradores (1995, 1999, 2003, 2004, 2009, 2011) sobre cognição numérica tornaram-se uma possibilidade de compreender como o conceito de número é construído pelo cérebro humano. Seus estudos consideraram a CogN como um sistema constituído de habilidades matemáticas relacionadas ao *senso numérico*, *processamento numérico* e *cálculo*. A CogN se desenvolve no decorrer da vida, além disso, é uma habilidade inata e adquirida que pode ser ampliada do decorrer do seu neurodesenvolvimento (DEHAENE, 2011).

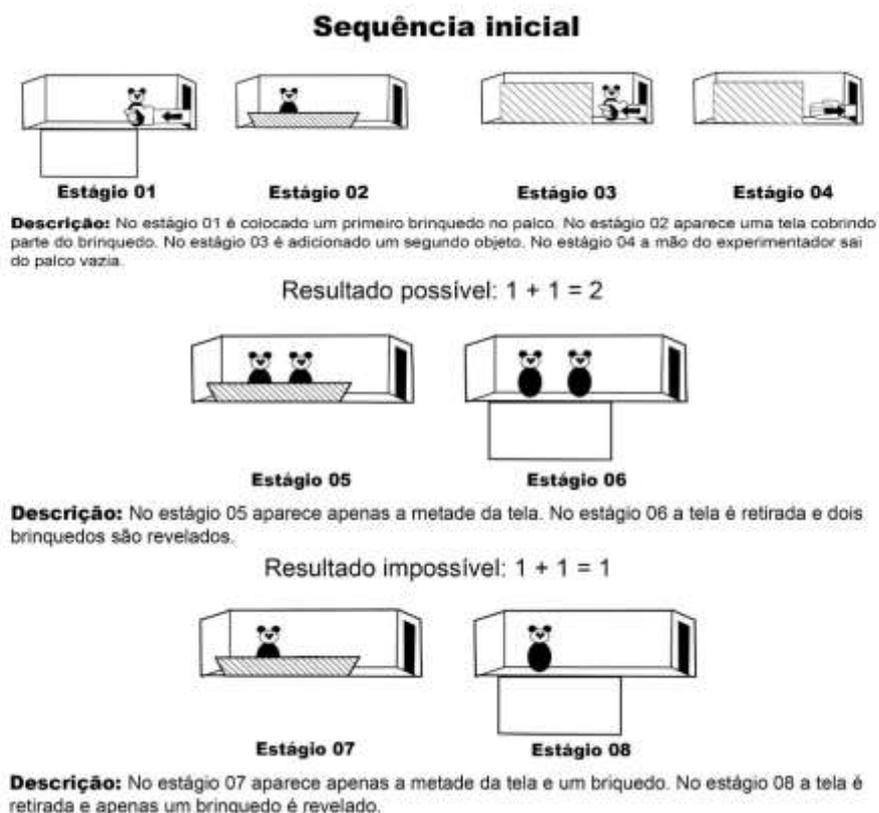
Nestes termos, os seres humanos têm talento natural para números, por exemplo: contagem súbita e estimativa de quantidades. Por isso, desde a Educação Infantil devem ser explorados, mesmo que de forma simples, ideias relacionadas ao processo de contagem. Se não for dessa maneira, possivelmente, “as crianças desenvolverão um forte sentimento de ansiedade em relação à matemática” (DEHAENE, 2011, p. 56). O inatismo das habilidades matemáticas é notado em um artigo publicado na revista *Nature* em 1992 sobre operações aritméticas (adição e subtração) por crianças de 4-5 meses de idade. O experimento consistia no desenvolvimento de um teatro de fantoches no qual brinquedos eram colocados e ou retirados visivelmente do cenário, em tempo e sequência real.

O estudo de Karen Wynn mostrou que bebês têm numerosidade. O experimento consistia na habilidade das crianças em detectar eventos fisicamente impossíveis como objetos flutuarem, ocuparem o mesmo espaço e sumir repentinamente. No laboratório, as crianças assistiam a um teatro de fantoches. A cena começava com um brinquedo e logo depois aparecia outro, mostrando a ideia concreta de $1 + 1 = 2$. No entanto, os brinquedos não eram expostos juntos de uma única vez, sempre entrava um em cena e logo em seguida outro. Para Dehaene (2011, p. 53) o potencial desse estudo consistiu

[...] na adaptação desta ideia ao sentido de número em recém-nascidos. Ele mostrou eventos que poderiam ser interpretados como transformações numéricas – para situações do tipo um objeto mais outro objeto – e testou se as crianças esperavam o resultado preciso de dois objetos.

A estrutura do experimento continha uma tela de fixação em cor preta com uma cruz no centro, para atrair a atenção das crianças. Em seguida, apareciam dois brinquedos como forma de estímulo. Após alguns segundos era retirado um dos brinquedos, como solução. Veja uma síntese do experimento:

Figura 12: Esquema do experimento de Karen Wynn



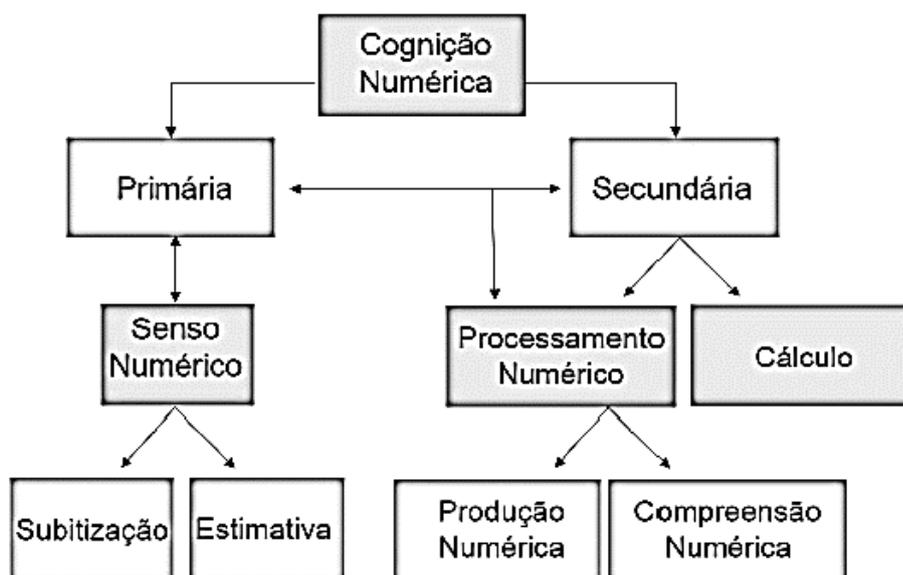
Fonte: adaptado de Dehaene, 2011

O estudo apontou que crianças, mesmo muito jovem, podem realizar operações aritméticas do tipo $1 + 1 = 2$, pois o esquema do experimento mostra que primeiro um brinquedo era escondido atrás de uma tela. Em seguida, um segundo brinquedo, idêntico ao primeiro, era adicionado. E finalmente, a tela caía revelando dois brinquedos, mas às vezes apenas um, pois o outro era retirado por uma saída secreta ($2 - 1 = 1$, resultado esperado). Quando o resultado era $1 + 1 = 1$ os bebês permaneciam mais tempo olhando para o evento, sugerindo que estavam esperando o resultado $1 + 1 = 2$.

O tempo que os bebês destinavam aos resultados variou (coerentes ou incoerentes), por exemplo, passavam mais tempo olhando para o resultado incoerente ($1 + 1 = 1$). Isso possibilitou inferir que possuem conceitos numéricos inatos, pois, “para perceber a resposta incorreta, é necessário ter estabelecido primeiro, as relações entre estas pequenas quantidades” (SANTOS, 2017, p. 205). No entanto, o resultado do estudo não implicou em afirmar que bebês realizam cálculos exatos, mas que podem saber que a quantidade de elementos de um conjunto muda quando são adicionados ou retirados elementos. Assim, podem compreender, mesmo que muito pequenos, que $1 + 1$ não pode ser igual a 1, como da mesma forma, $2 - 1$ não resulta em 2, sem necessariamente conhecer o resultado exato dessas operações.

Essas evidências sobre a CogN mostram que as habilidades matemáticas dependem, também, de fatores educacionais, culturais e biológicos. Dessa forma, o ambiente, os estímulos e as intervenções, por exemplo, contribuem para o neurodesenvolvimento da CogN. Numa perspectiva funcional, está organizada de acordo com o esquema abaixo:

Figura 13: Organização funcional da Cognição Numérica

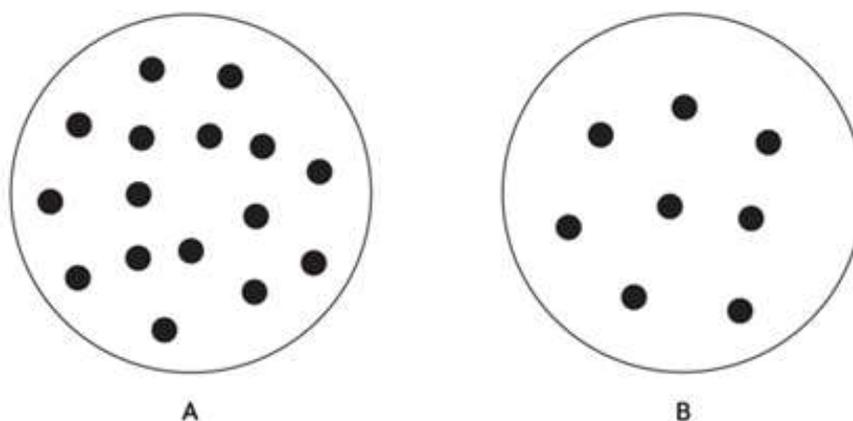


Fonte: Santos e Silva, 2016

Portanto, de acordo com a estrutura funcional da CogN, está organizada em duas estruturas: primária e secundária. Na sua estrutura primária encontra-se o senso numérico formado pela subitização ou *subitizing*³ (refere-se à habilidade inata de contagem de pequenas quantidades) e pela estimativa (refere-se à facilidade para discriminar quantidades maiores de menores). Na sua estrutura secundária encontra-se o processamento numérico, que antecede a habilidade de realizar cálculos, formado pela produção numérica (refere-se à habilidade de ler, escrever e contar números e objetos) e a compreensão numérica (refere-se à habilidade de compreender a natureza simbólica dos números). Ainda na estrutura secundária tem-se o cálculo, ou seja, os fatos aritméticos básicos (adição, subtração, multiplicação e divisão) entre valores menores que dez, que pode, progressivamente, ser ampliado para valores maiores por meio dos algoritmos tradicionais ensinados na escola.

Desse modo, Dehaene (2011) afirma que os seres humanos têm a capacidade inata de comparar e reconhecer pequenas quantidades sem recorrer ao processo de contagem. Isso se dá mesmo antes do processo formal da aprendizagem da matemática. Nessa perspectiva, os números 1, 2 e 3 são percebidos sem necessitar contar. Como exemplo, podemos citar a seguinte tarefa de CogN:

³ *Subitizing* é uma palavra que deriva do grego *subitus* e significa súbito ou muito rápido.

Figura 14: Tarefa de estimativa da magnitude não simbólica

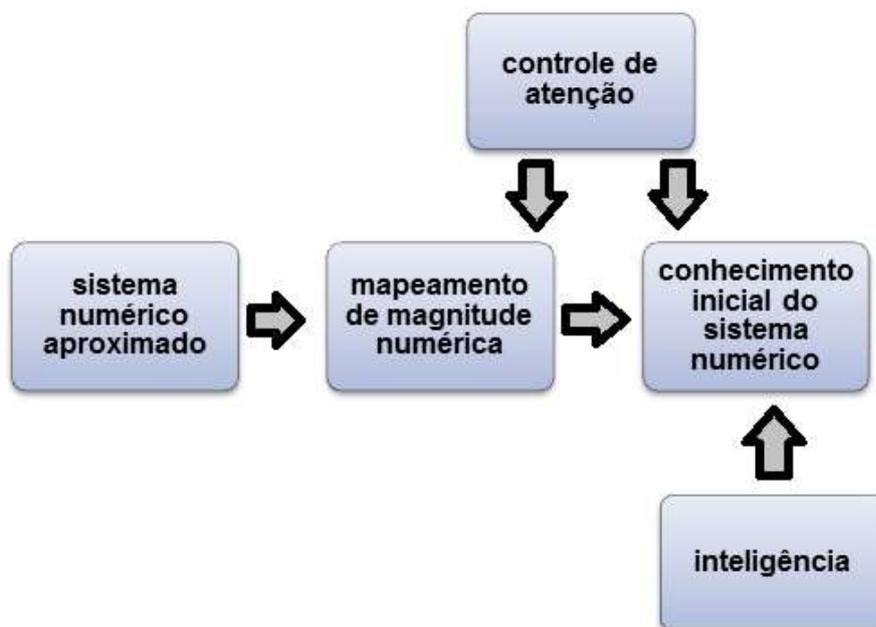
Fonte: Weinstein, 2016

Nesta tarefa de estimativa da magnitude numérica, o participante precisa comparar a numerosidade de dois conjuntos de pontos sem recorrer ao processo de contagem. Assim, sem contar, precisa indicar qual conjunto tem mais pontos. Isso acontece no processo de subitização, ou seja, realizar cálculos exatos de pequenas quantidades ou cálculos aproximados de quantidades maiores.

Assim, a representação da magnitude numérica ou senso numérico é a habilidade de comparar quantidades numéricas não simbólicas, como no exemplo da tarefa acima. Nessa perspectiva, as áreas cerebrais do córtex pré-frontal são ativadas quando expostas a tarefas dessa natureza, pois requer foco atencional.

As crianças quando se encontram em fase inicial da aprendizagem matemática perpassa primeiramente pela compreensão do sistema numérico aproximado, em seguida, desenvolve o mapeamento da magnitude numérica para, posteriormente, aprender o sistema numérico em que está inserido, no nosso caso, o sistema de numeração indo-arábico. No entanto, a atenção controlada faz-se necessário porque o sistema numérico é representado por símbolos sem sentido evolucionário e adquirem seu significado inicial e rudimentar quando é mapeado no senso de magnitude intuitivo da criança. Nesta etapa do desenvolvimento da CogN, a criança ainda não conhece as relações sistemáticas entre os numerais, apenas os associa às quantidades representadas pelo sistema de magnitude numérica ou senso numérico (GEARY, 2013), conforme esquema abaixo:

Figura 15: Esquema da aprendizagem matemática inicial



Fonte: adaptado de Geary, 2013.

Nesse modelo teórico, o senso numérico é a base inicial da aprendizagem matemática e os primeiros símbolos matemáticos abstratos que as crianças aprendem, na escola ou fora dela, são os nomes dos números e a representação das quantidades por meio de algarismos, em seguida, compreendem o significado dos algarismos arábicos por meio do mapeamento do senso numérico.

Para Dehaene (2011) o senso numérico é a capacidade que os seres humanos têm para compreender, aproximar e manipular quantidades numéricas de maneira rápida, ou seja, é a subitização. São habilidades matemáticas elementares para a construção do conceito de número.

Na perspectiva de Spinillo (2010, p. 85) o sentido de número ou senso numérico pode ser compreendido:

[...] como uma habilidade cognitiva que permite que o indivíduo interaja de forma bem sucedida com os vários recursos que o ambiente fornece, de maneira que se torne capaz de gerar soluções apropriadas para realizar atividades do cotidiano que envolve a matemática.

Conforme a autora, o sentido de número é uma habilidade matemática presente em diversos contextos de uso dos números, por exemplo, reconhecer o número de sua residência, distinguir um número de telefone da idade de seu colega, saber sua ordem na fila da merenda, entre outros. É um processo que vai implicar no desenvolvimento de outras habilidades matemáticas, como o processamento numérico e o cálculo.

Essa habilidade é muito importante para o desenvolvimento do raciocínio lógico-matemático, tanto em aspectos psicológico, neurocognitivo, educacional e sociais (SPINILLO, 2010).

Em relação às áreas do cérebro envolvidas na CogN, a subitização se desenvolve em regiões cerebrais específicas do córtex parietal cerebral, mais especificamente, no sulco intraparietal esquerdo. Essa área do cérebro ajuda na discriminação implicitamente de quantidade maiores para quantidade menores de objetos e essa capacidade se amplia e sofre alterações de acordo com os estímulos recebidos. Assim, na medida em que os sistemas cerebrais responsáveis pela numerosidade se desenvolvem, outras regiões do córtex parietal se especializam na formalização do sistema numérico aproximado e facilita na compreensão do sistema de numeração indo-arábico.

A habilidade inata da subitização foi comprovada por Dehaene *et al* (2003) em um estudo com um paciente que foi acometido por um infarto cerebral. O paciente sofreu lesão em suas habilidades de percepção visual. Tinha tornado-se incapaz de reconhecer algumas formas visuais, rostos e sofria de distorções visuais. Quando submetido a contar pontos que apareciam em uma tela sempre esquecia de contar alguns deles, por exemplo, dizia haver doze pontos quando na verdade havia somente quatro.

Esse mesmo paciente quando submetido à contagem de um, dois ou até três pontos, não errava a contagem. Isso evidenciou que a subitização, mesmo em lesões cerebrais severas, pode manter-se intacta. Isso sugere que o senso numérico não envolve um processo serial de contagem, mas captação da imagem visual. Portanto, o *subitizing* é fundamental para a aquisição do processamento numérico.

O processamento numérico é a capacidade de ler e escrever números, pois ela se antecipa ao desenvolvimento das habilidades de realizar cálculos, ou seja, dos fatos aritméticos básicos. É a capacidade de usar arbitrariamente símbolos, palavras ou dígitos arábicos que distingue os seres humanos de outros animais e esses símbolos consistem em elementos discretos que podem ser manipulados de maneira formal por meio de um sistema numérico. O processamento numérico, assim como o cálculo, é adquirido de forma não natural (diferente de como ocorre no senso numérico), ou seja, a criança precisa passar por um processo educacional.

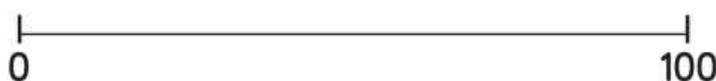
Na estrutura funcional secundária da CogN destaca-se a linha numérica mental como sendo a base da ordinalidade e do pensamento aritmético (SANTOS,

2017) para a consolidação de determinadas habilidades matemáticas relacionadas ao cálculo.

Na prática educacional, faz-se necessário compreender como se dá o desenvolvimento da linha numérica, pois a aprendizagem da linha numérica está baseada no sistema de estimativa das magnitudes numéricas para a contagem de três ou quatro objetos (DEHAENE, 2011). Nestes termos, é possível fazer inferências sobre o desenvolvimento do processamento numérico por crianças a partir da observação da forma como posiciona algarismos numa linha numérica de 0 a 100 escrita no papel, conforme figura abaixo:

Figura 16: Tarefa de Linha Numérica

80	53	98	20	8
----	----	----	----	---



Fonte: Weinstein, 2016

Na tarefa da figura 16, o objetivo era inserir algarismos numa linha numérica de 0 a 100. Escrevê-los do menor para o maior. Isso aciona a região cerebral responsável pela representação numérica. Dependendo do desempenho de quem a realiza, pode ser executada em um curto intervalo de tempo, ou não.

Um experimento mostrou que a velocidade com que uma pessoa compara dois algarismos ou coloca-os em uma linha numérica não depende, necessariamente, da distância entre eles, mas também do tamanho da quantidade que representa, por exemplo, demora muito mais tempo para decidir que 8 é maior que 7 do que decidir que 8 é maior que 2 (DEHAENE, 2011). Isso ocorre porque o cérebro não se preocupa em reconhecer a forma do dígito, o que reconhece é que o 7 está mais próximo do 8 do que o 2. Ou seja, a área do sulco parietal identifica a distância que separa os numerais na linha numérica mental.

Essa habilidade também é empregada para comparação de números arábicos de dois algarismos, por exemplo, decidir se 72 é maior ou menor que 63. Uma forma prática seria comparar os algarismos das dezenas, porém não é assim que o

cérebro procede (DEHAENE, 2009). O cérebro precisa analisar as unidades e as dezenas, pois ele entende o número como um todo.

Santos e Silva (2016, p. 20) afirmam que o processamento numérico consiste no recrutamento de habilidades de representação e manipulação de “numerosidade com magnitudes quantificáveis, seja pela representação simbólica (por exemplo, dígitos) ou não simbólica (por exemplo, pontos; objetos)”.

Outro componente importante do processamento numérico é a compreensão numérica que envolve a natureza dos símbolos numéricos. Em diversas culturas, as partes do corpo foram utilizadas para simbolizar valores numéricos. Por exemplo, para nomear “seis” os habitantes da Nova Guiné apontavam para o pulso. Assim como outras comunidades africanas utilizavam a mão para evocar a palavra “cinco”. No entanto, utilizar as partes do corpo para representar quantidades teve suas limitações. Para isso, tornou-se necessário criar uma sintaxe para definir a contagem e a representação simbólica de quantidades superiores. Para Dehaene (2011) a solução foi criar um sistema que pudesse combinar números menores para a formação de números maiores, isto é, um sistema de numeração posicional.

A posição que um algarismo assume na escrita do número determina seu valor posicional. Para Weinstein (2016) as tarefas que envolvem essa habilidade matemática contribuem para a melhoria do desempenho nas atividades de adição, sobretudo, nas tarefas de aritmética mais complexas, como subtração com recurso. Sobre isso, um estudo de Scheuer *et al* (2000) apontou que um erro constante apresentado por estudantes do 4º ano de escolarização é a inclusão de um dígito extra aos numerais extensos, ou seja, os números são escritos de forma escalonada. Desse modo,

[...] quando os estudantes cometem erros na escrita dos numerais, eles tipicamente escrevem os dígitos na ordem em que eles foram ouvidos, mas adicionam dígitos extras; por exemplo, ao escrever *seiscentos e quarenta e dois* como 600402 ou 610042 ou 6042, ou até mesmo 61412 (SCHEUER, 2000, p. 40).

Weinstein (2016, p. 25) afirma que “o valor posicional foi introduzido pelos numerais indo-arábicos. O valor de um dígito individual é determinado pela sua posição dentro do número, e o valor do número é determinado pela soma de cada um desses valores”. Então, para 125, o 1 equivale a 100, o 2 equivale a 20, e o valor é $100+20+5$. A não compreensão dessa regularidade matemática limita a aprendizagem de outros conteúdos matemáticos, tais como a adição e a subtração.

O sistema posicional está implícito na construção oral dos números, porém, essa transcodificação não é direta.

A transcodificação numérica é uma das habilidades aritméticas básicas mais necessárias para enfrentar situações cotidianas que envolvem a linguagem matemática (HAASE, 2015). Entretanto, os estudantes em fase inicial de aquisição das habilidades numéricas, primeiramente aprendem a recitar os numerais falados, em seguida, mapeiam os numerais em uma sequência e, finalmente, estabelecem uma relação entre o nome do numeral e sua representação indo-arábica.

Desse modo, os estudantes em fase inicial de escolarização precisam desenvolver a transcodificação numérica por meio de tarefas de reconhecimento dos dígitos e sua representação simbólica das quantidades, ao invés de somente repetir seus nomes, pois estudos de Xenidou-Dervou *et al* (2014) apontaram que a habilidade de nomear números de dois dígitos, por exemplo, está fortemente correlacionada com o sistema simbólico de aproximação numérica, não tendo relação com o sistema não simbólico. Os pesquisadores afirmaram, com base nos resultados encontrados, que o sistema simbólico de numeração é ampliado a partir do desenvolvimento neurocognitivo e da educação formal, sendo que o mesmo não ocorre com o sistema numérico não simbólico. Assim a aprendizagem dessa habilidade contribui para o desenvolvimento dos fatos básicos aritméticos (cálculo).

Nesse contexto, os fatos numéricos básicos estão relacionados com a realização de cálculos de adição, subtração, multiplicação e divisão. Para Weinstein (2016) o conhecimento de fatos aritméticos e a fluência no cálculo são fatores determinantes para o desenvolvimento neurocognitivo da aprendizagem matemática escolar.

Aprender o processamento numérico é uma tarefa não muito complexa como aprender a calcular (DEHAENE, 2009). Nosso cérebro não vem preparado para memorizar dezenas de fatos aritméticos básicos, como por exemplo, 3×4 . Ou resolver uma subtração com recurso e com zero intercalado, isto é, calcular mentalmente $103 - 46$. Segundo o autor, nosso cérebro precisa recorrer aos circuitos alternativos a fim de compensar a ausência de áreas cerebrais projetadas especificamente para a realização de cálculo.

Ao ser submetido a uma tarefa de cálculo o cérebro dispensa uma grande carga cognitiva e, conseqüentemente, diminui a velocidade de processamento, requer mais atenção e está sujeito a uma maior frequência de erros. Esses fatores

colocam as tarefas de cálculo como uma das mais complexas relacionadas à cognição numérica. No entanto, a educação formal pode contribuir para a consolidação dessa habilidade.

Um estudo de ressonância magnética funcional (fMRI) indicou que as regiões cerebrais do sulco intraparietal são ativadas com mais frequência quando as pessoas enfrentam tarefas de cálculo (DEHAENE; MOLKO; COHEN; WILSON, 2004) e isso possibilita inferir que o sulco intraparietal desempenha um papel central na representação e manipulação de quantidades.

Uma possibilidade de desenvolver o cálculo é o processo de contagem. Assim, com a diversidade de situações de contagem, a criança compreende que ao perguntar quantos têm significa o final da ação de contar. Por exemplo, se perguntarmos para uma criança de três anos quantos brinquedos tem, possivelmente responderá de forma aleatória ou não conseguirá responder, porque ainda não associa o processo de contagem com a palavra “quantos”. Após os quatro anos de idade ela conseguirá responder corretamente (DEHAENE, 2009). Isso implica afirmar que a representação não verbal de quantidades numéricas desempenha um papel crucial no processo de contagem.

[...] suponha que uma criança brinque com duas bonecas. As regiões cerebrais automaticamente ativam uma representação para a quantidade 2. Além disso, a criança já aprendeu a palavra “dois” e aplica para dizer “duas bonecas” sem ter que contar. Mas se por um motivo particular necessite contar, perceberá que o último número da contagem “dois”, é a própria palavra que aplica-se a todo o conjunto de bonecas (DEHAENE, 2009, p. 121).

Conforme situação apresentada, após vivenciar diversos contextos como citado acima, poderá inferir profundamente que sempre que se conta, a última palavra representa o total dessa contagem. Ou seja, representa uma quantidade numérica e que “contar é a melhor maneira de dizer quantos” (DEHAENE, 2009, p. 122). Portanto, aprender a contar é o ponto de partida para realizar cálculos, caso contrário pode apresentar problemas com a aprendizagem dos fatos aritméticos básicos.

Desse modo, as habilidades para calcular se ampliam. Uma nova estratégia pode aparecer. Geralmente, quando solicitado a somar $3 + 5$, recorrem ao maior dos dois números. Transforma esta tarefa, por meio da propriedade comutativa, em $5 + 3$ e iniciam a contagem a partir do número cinco. Isso é chamado de “estratégia mínima” (DEHAENE, 2009). Esta estratégia pode ser considerada como um

algoritmo padrão que está subjacente à maioria dos estudantes, mesmo antes de iniciar formalmente o ensino das operações aritméticas.

O próximo passo, não que isso ocorra linearmente, é lembrar-se de fatos básicos já conhecidos, por exemplo, que $2 + 3$ é igual a 5. Então, $3 + 2$ também é igual a 5. Nestas situações o importante não é a fluência do cálculo ou sua automaticidade, mas a precisão da resposta. Nesse sentido, aprender fatos básicos em termos de relações é uma fase importante do desenvolvimento conceitual e envolve o uso de estratégias diversas, ou seja, “mudança de um mecanismo predominantemente procedimental para um predominantemente declarativo” (WEINSTEIN, 2016, p. 28).

O último estágio do neurodesenvolvimento dos fatos aritméticos básicos dar-se com a automatização dos fatos numéricos, ou seja, o conhecimento declarativo. A evocação dos fatos aritméticos ocorre por estarem armazenados na memória de longo prazo. Assim, crianças e adultos desenvolvem a capacidade de evocar as respostas aos fatos sem precisarem recorrer a qualquer estratégia de cálculo. Para Weinstein (2016, p. 29), os estudantes que “automatizaram o fato numérico respondem em menos de um segundo, ou seja, escrevem de quarenta a sessenta respostas por minuto, dependendo de sua velocidade de escrita”.

Dehaene (2009) afirma que as habilidades de cálculo não emergem em uma ordem imutável e cada ser humano se desenvolve conforme suas especificidades neurocognitivas e de acordo com os estímulos provocados, ou seja, cada um tem tempo próprio para aprender e isso precisa ser respeitado. Aos poucos adquirem estratégias próprias para enfrentar problemas aritméticos. Por isso, “não há dúvida de que a educação matemática desempenha um papel importante nesse processo, com a apresentação de novos algoritmos para os cálculos, mas devem-se considerar também os algoritmos construídos pelas crianças antes da educação formal” (DEHAENE, 2009, p. 123).

Os domínios funcionais da CogN, conforme o modelo teórico do *Código Triplo* de Dehaene e Cohen (1995), podem ser associados aos prejuízos causados pela discalculia em estudantes com SW, pois muitas crianças ingressam na educação formal com dificuldades severas na matemática (GEARY, 2015) que se estendem por toda vida escolar e isso necessita de atenção.

No próximo capítulo, tratar-se-á dos aspectos epistemológicos da pesquisa, tais como o contexto da investigação, o estudo de caso, a avaliação neurocognitiva e a intervenção digital para o treino das habilidades matemáticas.

CAPÍTULO 2

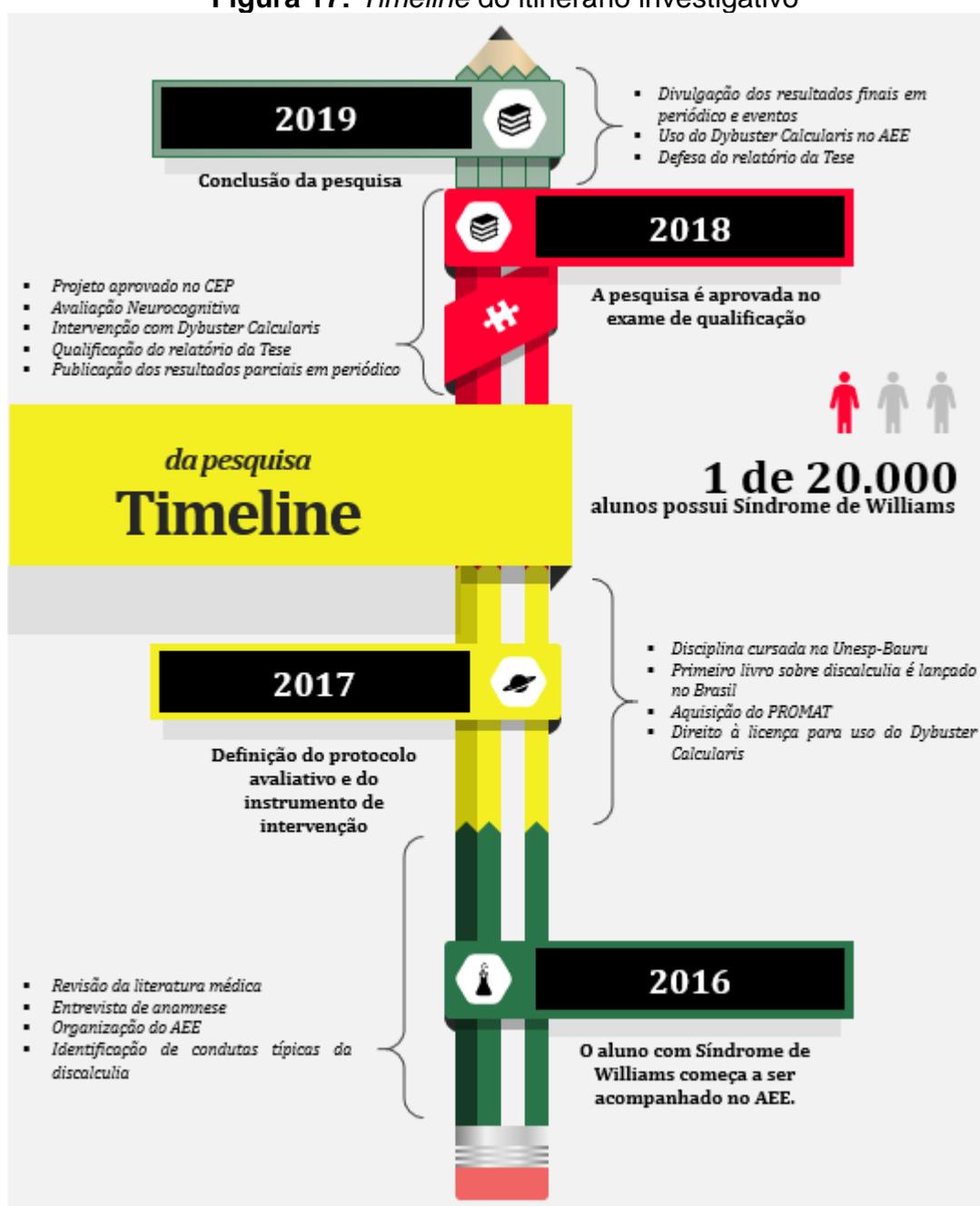
ITINERÁRIOS DA INVESTIGAÇÃO

Penso noventa e nove vezes
e nada descubro;
deixo de pensar,
mergulho em profundo silêncio-
e eis que a verdade se me revela.

Albert Einstein, 1960

Neste capítulo destacam-se os aspectos epistemológicos da metodologia da pesquisa. Nestes termos, trata-se de uma investigação qualitativa que busca investigar o efeito do Treino Computadorizado de Habilidades Matemáticas (*Dybuster Calcularis*) sobre o desenvolvimento da Cognição Numérica (senso numérico, processamento numérico e cálculo) em um estudante adulto com Síndrome de Williams-Beuren. O infográfico abaixo apresenta, em termos gerais, o itinerário da investigação por meio de uma *Timeline* das principais ações realizadas durante a pesquisa.

Figura 17: *Timeline* do itinerário investigativo



Fonte: Diário de Pesquisa, 2019.

A pesquisa encontra-se situada na interface entre a Neurociência Cognitiva e a Educação Matemática e não foi adotada uma postura investigativa puramente disciplinar, isto é, “fechada em um corpo e características próprias, conhecimento especializado de valores, de informação, de interpretação” (GONÇALVES-MAIA, 2011, p. 205), pois partiu-se do pressuposto de que a ciência é também interdisciplinar.

A produção do conhecimento científico deu-se na interface dos estudos da Neurociência Cognitiva e da Educação Matemática, e em alguns momentos, da Educação Especial. Pois foi no confronto entre essas áreas de investigação que emergiram novas informações que se articularam para que fosse possível compreender melhor os aspectos neurocognitivos do processo de ensino e de aprendizagem da matemática na síndrome de Williams-Beuren.

Uma ponte foi criada para que fosse possível estabelecer um diálogo entre as ciências envolvidas na pesquisa, mas para que isso fosse possível, fez-se necessário destituir-se de quaisquer preconceitos e juízos de valores, colocar-se em atitude de aprendizagem na perspectiva de querer buscar esclarecimentos inerentes aos aspectos relacionados à disfunção da Cognição Numérica na síndrome de Williams-Beuren.

O tema investigado, Cognição Numérica na Síndrome de Williams-Beuren, sustentou-se nas pesquisas da neurociência, pois no âmbito das pesquisas em Educação ou Educação Matemática não foi encontrado nenhum estudo dessa natureza. Os trabalhos que traziam em seus títulos a expressão “neurociência” ancoravam-se na perspectiva nas teorias da psicologia da aprendizagem, principalmente nos estudos de Piaget e Vigotsky, ou ainda, em aspectos da psicologia comportamental. Esse levantamento foi feito com base no catálogo de teses e dissertações da Coordenação de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Diante da escassez de pesquisas no âmbito da Educação Matemática que tratassem sobre aprendizagem de pessoas com síndrome de Williams-Beuren na perspectiva da Neurociência Cognitiva fez-se necessário recorrer às plataformas de pesquisas da neurociência, tais como a Medline (*Medical Literature Analysis and Retrieval System Online*) e a Pubmed (*Medical Publications*). A Medline é um sistema de busca de literatura médica e sua base dados bibliográficos está vinculada à biblioteca nacional de medicina dos Estados Unidos da América. A

Pubmed é uma plataforma possibilita pesquisar estudos de literatura biomédica citados em revistas e livros. Abrange temas relacionados à Neurociência Cognitiva, neurociência comportamental, bioquímica e bioengenharia.

Os estudos oriundos dessas plataformas tratam, especificamente, de pesquisas no âmbito clínico. Desse modo, o maior desafio foi articular as contribuições da neurociência para a Educação Matemática. Assim, discutir em que termos essas pesquisas poderiam dialogar com os desafios enfrentados nas escolas no que concerne à aprendizagem matemática de alunos com síndrome de Williams-Beuren.

Outro aspecto da fronteira epistemológica entre a Neurociência Cognitiva e a Educação Matemática é o método de pesquisa Estudo de Caso Único (YIN, 2015). Esse método facilitou compreender melhor os prejuízos causados pela síndrome de Williams-Beuren ao desenvolvimento da Cognição Numérica do aluno investigado. Possibilitou um aprofundamento no estudo das habilidades matemáticas envolvidas (senso numérico, processamento numérico e cálculo) a fim de buscar fundamentos e explicações para o modelo teórico da Cognição Numérica adotado na pesquisa.

Adotou-se o Estudo de Caso Único por se tratar de uma síndrome rara. Dessa forma, a estratégia metodológica adotada possibilitou explorar, descrever e interpretar com mais solidez as informações construídas no decorrer da pesquisa. Para Yin (2015, p. 17) o estudo de caso “é uma investigação empírica que investiga um fenômeno (o caso) em profundidade e em seu contexto de mundo real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto puderem não ser claramente evidentes”. Sobre o Estudo de Caso Único, o autor aborda cinco justificativas/elementos para esse tipo de projeto de pesquisa: selecionar um caso raro ou crítico; precisa ser peculiar, ou seja, próprio de uma pessoa; precisa haver outros casos comuns; precisa ser revelador; precisa ser longitudinal. Portanto, o caso investigado apresentou elementos necessários para justificar um estudo dessa natureza.

Os aspectos éticos da pesquisa caracterizam mais ainda essa região de fronteira. Devido ao Instituto de Educação Matemática e Científica (IEMCI), instituição a qual o estudo está vinculado, não ter comitê de ética em pesquisa (CEP) fez-se necessário submeter o projeto de tese ao CEP do Instituto de Ciências da Saúde (ICS) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Isso mostra a

necessidade de o IEMCI constituir um comitê de ética, pois desde 1996 foram estabelecidos diretrizes e normas de pesquisas envolvendo seres humanos com o intuito de garantir o respeito à pessoa.

Todos os procedimentos metodológicos do estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética do Instituto de Ciências da Saúde (ICS/UFGA), conforme parecer nº 2.624.998. Além da aprovação do CEP, um termo de livre consentimento foi assinado pela responsável do estudante investigado. A aprovação do projeto de pesquisa pelo CEP contribui também para a publicação de resultados do estudo em revistas com *Qualis*, pois diversos editores de periódicos nacionais e internacionais e que contam com *peer review*, geralmente colocam como critério de publicação a aprovação do CEP, além de carta com assinatura do TCLE (Termo de Consentimento Livre e Esclarecido).

Concomitantemente ao processo de avaliação do projeto de pesquisa pelo CEP, a busca por literatura específica na área de Neurociência Cognitiva e de Cognição Numérica conduziu o pesquisador a realizar no Programa de Pós-Graduação em Psicologia do Desenvolvimento e Aprendizagem da Universidade Estadual Paulista (UNESP, Campus Bauru-SP), sob a supervisão da professora doutora Flávia Heloísa dos Santos, uma disciplina sobre Memória Humana e Aprendizagem Matemática. Nesta ocasião discussões sobre os fundamentos do funcionamento da memória humana, suas estruturas de armazenamento e suas formas de recuperação. Além disso, foram apresentadas investigações científicas sobre aprendizagem matemática e memória, principalmente os casos de discalculia do desenvolvimento.

Nessa busca em integrar as pesquisas da Neurociência Cognitiva às pesquisas da Educação Matemática, surge durante a palestra intitulada “*Atualidades em Discalculia do Desenvolvimento*”, proferida pela Dra. Flávia Santos no Campus da UNESP de Bauru, a possibilidade de investigar as disfunções da Cognição Numérica ocasionadas pela síndrome de Williams-Beuren, tema ainda não pesquisado com estudantes brasileiros. Ainda nessa ocasião, foram lançados, no âmbito brasileiro, o primeiro livro sobre Discalculia do Desenvolvimento e o primeiro instrumento de intervenção digital para o treino de habilidades matemáticas não restrito aos psicólogos e aos neucientistas.

A inserção na literatura, as discussões nos seminários de pesquisa e a experiência no Programa de Pós-Graduação da Unesp (Campus Bauru-SP) conduziram a pesquisa à definição do protocolo avaliativo das habilidades matemáticas. Com isso, as investigações desenvolvidas por Weinstein (2016) apontavam para o uso do PROMAT, ou seja, um roteiro de sondagem das habilidades matemáticas relacionadas à Cognição Numérica. Esse instrumento avaliativo foi criado para avaliar os transtornos específicos da aprendizagem matemática, isto é, um instrumento de rastreio da discalculia.

O desenho metodológico deu-se da seguinte maneira: pré-teste, intervenção e pós-teste. Na etapa do pré-teste as habilidades relacionadas ao senso numérico, processamento numérico e cálculo foram avaliadas para que fosse possível estabelecer um perfil cognitivo do aluno. Durante doze semanas foi realizada a intervenção digital com o intuito de promover o desenvolvimento da Cognição Numérica. Após o período de intervenção as habilidades matemáticas do aluno foram reavaliadas. Cada momento da pesquisa está descrito mais adiante no texto.

As informações construídas no decorrer da pesquisa foram analisadas por meio da metodologia de Análise de Conteúdo (BARDIN, 2011). Os dados foram organizados em tabelas e gráficos referentes ao rendimento do participante nos distintos domínios da Cognição Numérica. Corroborando com a metodologia de análise proposta por Bardin (2011), inicialmente fez-se uma pré-análise (resultado do pré-teste), em seguida a exploração do material (resultados da intervenção) e, por fim, inferências (discussão dos resultados do pós-teste). Cada etapa da metodologia de análise está descrita no capítulo dos *resultados e discussões*.

Nos próximos tópicos são apresentados o contexto da pesquisa, o estudo de caso, o teste PROMAT e a intervenção *Dybuster Calcularis*.

2.1 O contexto da pesquisa

É na interface dos estudos da Neurociência Cognitiva e da Educação Matemática que se dá o contexto da pesquisa, mais especificamente, na Educação Especial. Dessa forma, entendemos a Educação especial como uma modalidade de ensino que atende alunos com deficiência, transtornos globais do desenvolvimento e altas habilidades ou superdotação. No caso do participante da pesquisa enquadra-

se como público alvo porque possui um transtorno global do desenvolvimento chamado de síndrome de Williams-Beuren.

No entanto, o processo de escolarização dos alunos da Educação Especial tem sido um desafio constante. Os espaços escolares, as práticas docentes e a organização do trabalho didático-pedagógico precisaram sofrer mudanças para que as escolas pudessem assumir um projeto político pedagógico inclusivo. Com isso, tem crescido o interesse de pesquisadores por essa área educacional.

Durante o processo investigativo foi assumida uma postura inclusiva. A organização do espaço de pesquisa, a seleção dos materiais de avaliação neurocognitiva, a ferramenta de intervenção e o acolhimento do participante se deram em um contexto de inclusão. Dessa forma, partiu-se do pressuposto de que a inclusão concebe a escola como “um espaço de todos, no qual alunos constroem o conhecimento segundo suas capacidades, expressam suas ideias livremente, participam ativamente das tarefas de ensino e se desenvolvem como cidadão, nas suas diferenças” (ROPOLI, 2010, p. 8). Corroborando com a autora, a escola precisa atender os alunos da Educação Especial pelas suas diferenças.

O estudo foi realizado em uma escola da rede estadual de ensino de Castanhal-PA. Um dos espaços pedagógicos, a sala de recursos multifuncionais, foi utilizada como *lócus* da pesquisa. A escolha desse contexto se deu devido o pesquisador exercer a função de professor da Educação Especial neste estabelecimento de ensino e atuar como docente do participante da pesquisa na sala de recursos multifuncionais.

A sala de recursos multifuncionais é um espaço pedagógico organizado para atender, no contra turno, os alunos da Educação Especial. Nelas são organizadas atividades didático-pedagógicas que auxiliam no processo de ensino e aprendizagem. Para frequentar esse espaço o estudante precisa estar matriculado regularmente.

O participante da pesquisa estava matriculado no 7º ano do Ensino Fundamental e frequentava o espaço da Educação Especial desde março de 2016, quando se deram os primeiros contatos com o pesquisador. Ele recebia regularmente atendimento educacional especializado (AEE), um serviço ofertado nas salas de recursos multifuncionais. Segundo Ropoli (2010, p. 17),

O AEE complementa e/ou suplementa a formação do aluno, visando a sua autonomia na escola e fora dela, constituindo oferta obrigatória pelos sistemas de ensino. É realizado, de preferência, nas escolas comuns, em um espaço físico denominado Sala de Recursos Multifuncionais. Portanto, é parte integrante do projeto político pedagógico da escola.

O aluno pesquisado participava até três vezes por semana dos serviços oferecidos no AEE. Não havia inicialmente um roteiro de como trabalhar as limitações cognitivas do aluno, foi preciso conhecê-lo para que os recursos didáticos fossem selecionados para o atendimento. Cada encontro no AEE durava em média 2 horas e 30 minutos.

O atendimento era sempre individual e isso facilitava as atividades de intervenções. O plano de atendimento individualizado contava com recursos didáticos – ábaco, material dourado, fichas de números escalonados e jogos *offline* – que contribuíam para a eliminação de barreiras que impediam o aluno desenvolver suas habilidades matemáticas, garantindo-lhe a participação no processo escolar, segundo suas capacidades.

O AEE não era um reforço escolar, mas um serviço educacional organizado e estruturado de atividades complementares ou suplementares às tarefas realizadas em sala de aula regular. Contudo, o projeto pedagógico da escola precisa; para fins de planejamento, avaliação dos recursos, elaboração de estratégias didáticas e acompanhamento da aprendizagem; contemplar os seguintes aspectos:

Carga horária para os estudantes do AEE, individual ou em pequenos grupos, de acordo com as necessidades educacionais específicas; Espaço físico com condições de acessibilidade e materiais pedagógicos para as atividades do AEE; Professores com formação para atuação nas salas de recursos multifuncionais; Profissionais de apoio às atividades da vida diária e para a acessibilidade nas comunicações e informações, quando necessário; Articulação entre os professores da educação especial e do ensino regular e a formação continuada de toda a equipe escolar; Participação das famílias e interface com os demais serviços públicos de saúde, assistência, entre outros necessários; Oferta de vagas no AEE para estudantes matriculados no ensino regular da própria escola e de outras escolas da rede pública, conforme demanda e; Registro anual no Censo Escolar MEC/INEP das matrículas no AEE (BRASIL, 2014, p. 7).

Nestes termos, o professor do AEE precisava acompanhar o desenvolvimento acadêmico do aluno na sala de recursos multifuncionais e na sala de ensino regular. Por isso o trabalho do professor da Educação Especial era articulado com o dos professores do ensino regular e isso refletia no sucesso acadêmico do estudante. O docente do AEE elaborava e organizava recursos pedagógicos e de acessibilidade de acordo com as necessidades educacionais

especiais do aluno. Todas essas ações constavam no plano de AEE (BRASIL, 2014).

Esse plano de AEE servia como suporte ao trabalho docente. Assim o professor sabia quais recursos poderiam auxiliar na promoção da aprendizagem do estudante. O plano, sobretudo, precisava ser constantemente revisado e atualizado.

Por fim, a participação da família foi muito importante nesse processo. O trabalho desenvolvido pelo professor do AEE precisou contar com o apoio dos responsáveis do aluno no intuito de traçar seu perfil social, cultural e cognitivo. Dessa forma, algumas ações como reuniões, visitas domiciliares e entrevistas foram realizadas e contribuíram para o levantamento de informações que auxiliaram na constituição do caso, conforme veremos a seguir.

2.2 O Estudo de Caso

O participante da pesquisa quando foi inserido no sistema formal de educação, sempre foi tratado como deficiente intelectual, pois ainda não tinha um laudo mais detalhado sobre sua dificuldade de aprendizagem. A falta de conhecimento sobre as especificidades do aluno e a falta de uma equipe multidisciplinar que o atendesse, resultou em diversos anos de reprovação escolar, isso explica o fato de estar, em 2018, com 23 anos de idade cursando o 9º ano do Ensino Fundamental.

Em entrevista de anamnese⁴ a mãe do participante narrou que durante a gravidez sofreu um acidente que resultou em um início de aborto, porém o choque emocional foi controlado. Disse que após esse fato o bebê não ficava mais calmo em seu útero. Revelou também que na sua família materna e na família paterna nunca houve caso dessa síndrome, com isso pode-se inferir que não se trata de aspectos hereditários. Quando criança, ele apresentou dificuldades psicomotoras e de alimentação e isso pode ter ocasionado em atraso para andar. Outros aspectos como problemas na arca dentária e retardo para falar, também marcou sua infância, mas isso não o impossibilitou de frequentar a escola na idade adequada, ou seja, aos seis anos de idade.

⁴ Entrevista de Anamnese é utilizada pelos profissionais da saúde ao seu paciente, que tem a intenção de ser um ponto inicial no diagnóstico de uma doença ou patologia. Essa prática ajuda o paciente relembrar todos os fatos que podem estar associados à pessoa doente (YIN, 2011). Por se tratar de um estudo prospectivo, a entrevista não foi estruturada, somente ocorreu uma narrativa sobre como se deu a gestação, a infância e o processo inicial de escolarização.

Desde pequeno sua mãe o levava regularmente ao médico, pois durante as brincadeiras apresentava sinais incomuns de cansaço. Além disso, as alterações faciais também marcavam sua síndrome, mas ninguém em casa e na escola sabia muito bem qual era a doença dele.

A socialização, isto é, a facilidade que tinha para fazer amizades, era uma marca característica. Na escola, por exemplo, sempre tinha fortes relações com seus professores e demais profissionais da escola. Em casa, não gostava muito de brincar com crianças da sua idade ou mais novas, sempre preferia as mais velhas.

As atividades escolares com músicas sempre chamaram sua atenção, porém sons altos (buzina, sirenes, rojões etc.) poderiam irritá-lo com muita facilidade e tirariam sua concentração. Outro aspecto sobre a escolarização era a grande facilidade com que perdia a atenção durante as explicações das aulas. Devido isso, uma das suas professoras chegou a comentar com a mãe dele que era muito ansioso e que isso o prejudicava no desenvolvimento das atividades.

Diante de todos esses sinais, ele foi indicado pela coordenação pedagógica a frequentar a sala da Educação Especial. Assim, durante alguns anos foi segregado a uma prática escolar que não parecia contribuir eficazmente com o seu desenvolvimento neurocognitivo, visto que não conheciam a síndrome. A falta de orientação didático-pedagógica fez com que ele aprendesse a ler somente aos doze anos de idade. O processo de alfabetização linguística, mesmo tardio, ajudou no seu desenvolvimento cognitivo e na aprendizagem de outros componentes curriculares, tais como história, geografia, língua portuguesa e ciências. Porém, na matemática não conseguia apresentar avanços.

O tempo passou e a síndrome não era diagnosticada e isso comprometia o seu rendimento escolar, mas em junho de 2015, quando tinha 20 anos de idade, a partir de um encontro com um motorista de ônibus interurbano que lhe ofereceu tratamento médico adequado, conseguiu consultas e exames com uma equipe multidisciplinar (neurologista, cardiologista, oftalmologista, fonoaudiólogo, geneticista e psicopedagogo). Após vários exames, chegaram à conclusão de que ele tinha uma síndrome rara.

Esse encontro com o motorista ocorreu em junho de 2015. O motorista pediu para tirar uma foto e anotar o endereço para que depois pudesse o visitar. Uma semana depois desse encontro, o motorista na companhia de sua esposa e de seu

filho, que também possui a síndrome de Williams-Beuren, foram a sua casa e falaram com seus pais. O participante da pesquisa narrou como se deu o encontro:

[...] Daí quando eles chegaram a minha casa, explicaram para minha mãe que eu era Williams. Minha mãe pensava que isso era o nome de uma pessoa e não uma doença rara. Ela ficou um pouco assustada, mas depois entendeu. Assim, marcaram para irmos visitar a casa de apoio às pessoas com Síndrome de Williams e doenças raras. Esse encontro foi muito importante porque agora eu poderia ser atendido com vários profissionais, algo que eu nunca tinha feito, mesmo porque meus pais não tinham como pagar esse tratamento (**Diário de Pesquisa. Março, 2016**).

Após esse encontro, ele passou por um acompanhamento médico, primeiramente, com o neurologista. Os exames preliminares indicaram que apresentava as condutas típicas da síndrome, principalmente no que concernia o desenvolvimento neurocognitivo. Em seguida, foi examinado pelo cardiologista que, após resultados dos exames, confirmou problemas cardíacos. Porém, que poderia praticar algumas atividades físicas, mas com moderação. Sobre a aprendizagem da matemática, os resultados não foram muito bons.

[...] Quando eu terminei o exame com o neurologista, fui avisado por ele que eu poderia melhorar a minha linguagem e a leitura, mas que aprender matemática era muito difícil, alguns assuntos seriam quase impossíveis. Aprender os números e fazer contas era muito difícil para quem tem essa síndrome. Mas que não deveria desanimar. Por isso, eu vim fazer o Atendimento Educacional Especializado nessa escola, entendeu? Eu entendo quando o senhor explica o assunto, mas quando estou nas aulas da professora de matemática esqueço quase tudo do que estudei aqui no AEE. Será que eu vou mesmo aprender os números e fazer contas? (**Diário de Pesquisa. Março, 2016**).

A partir desse acompanhamento multidisciplinar, ele passou a frequentar a casa de apoio à pessoa com Síndrome de Williams e isso favoreceu um acompanhamento clínico mais especializado. Após exames neurológicos e cardiológicos, foi levado ao fonoaudiólogo para tratar do comprometimento da fala, pois apresentava dificuldade para pronunciar palavras, por exemplo, com a letra *r* intercalada entre consoantes e vogais (criminoso, Brasil e cruzamento), dificultando a compreensão de algumas expressões.

O trabalho da fonoaudiologia contribuiu para o desenvolvimento de sua fala, mas a dificuldade para aprender matemática continuava. Depois de várias consultas com o fonoaudiólogo e com o oftalmologista (o participante tem problema de vista),

para poder fechar um diagnóstico mais preciso, marcou-se a consulta com a geneticista, Dra. Maria Isabel, do Hospital Universitário Bettina Ferro de Souza.

O acompanhamento com a geneticista durou mais de um ano. Bimestralmente, recebia atendimento por meio das ações do Projeto Caminhar⁵ coordenado pela presidente da casa de apoio às pessoas com doenças raras. Desse modo, após exames e consultas criteriosas, recebeu o seguinte laudo, assinado pela geneticista do Hospital Universitário:

[...] o paciente, 21 anos e 9 meses de idade encontra-se em acompanhamento médico neste serviço, por apresentar atraso no desenvolvimento associado a alterações genéticas caracterizando a patologia codificada sob o (s) CID **Q 93.5** e necessita de atendimento multidisciplinar para dar continuidade ao seu tratamento (**Laudo Médico, 27 de outubro de 2016**).

Após diversos exames e consultas, e com todas as condutas típicas da síndrome, ele foi diagnosticado com a doença rara Síndrome de Williams-Beuren. O acompanhamento clínico continuou, mas na escola regular não recebia atendimento educacional adequado para melhorar o desempenho das suas habilidades matemáticas. Continuava estudando conteúdos que não conseguia aprender (equação do 1º grau com uma variável e com duas variáveis, radiciação, potenciação, conjunto dos números racionais e irracionais, expressões algébricas, operações com monômios e polinômios), pois ainda não tinha aprendido conteúdos básicos, por exemplo, conjunto dos números naturais, escrita dos números naturais e operações com números naturais (adição, subtração, multiplicação e divisão). Nesse contexto, o AEE era uma possibilidade de melhorar o desempenho das habilidades matemáticas básicas.

Em 2016, ele passou a receber AEE e as atividades didático-pedagógicas foram sendo direcionadas para as dificuldades apresentadas pelo aluno. Para isso, foi realizado um trabalho diagnóstico sobre as seguintes competências matemáticas: leitura e escrita de números naturais por extenso e na forma indo-arábica, adição sem e com reserva, subtração sem e com recurso, multiplicação sem e com reserva e divisão.

Em um dos acompanhamentos do AEE, foi planejada uma aula sobre a organização do Sistema de Numeração Decimal (SND). Nessa ocasião, foi realizado um ditado de números indo-arábicos. As tarefas foram as seguintes:

⁵ O Projeto Caminhar é uma iniciativa da Associação Paraense de Síndrome de Williams e Doenças Raras.

Figura 18: Atividades de compreensão numérica desenvolvidas pelo participante durante o AEE

TAREFAS:	
SEM INTERFERÊNCIA E SEM MATERIAL DOURADO	01) QUANTAS UNIDADES TÊM EM UMA DEZENA?
	10
	02) QUANTAS UNIDADES TÊM EM MEIA DEZENA?
	12
	03) QUANTAS UNIDADES CENTENA?
	5
	04) QUANTAS DEZENAS TÊM EM UMA CENTENA?
	6

Fonte: Diário de Pesquisa, 2016.

Essas atividades foram desenvolvidas em abril de 2016. Após conhecer as limitações do aluno o trabalho pedagógico do AEE tomou outro direcionamento, pois ficar “reforçando” os conteúdos de matemática que estudava na sala de aula regular não resultava na melhoria do desempenho dos fatos básicos da Cognição Numérica. Portanto, a imagem revela que o aluno não conhecia totalmente a organização do SND.

Em outra atividade diagnóstica realizada no AEE, o aluno mostrou que não conseguia escrever os números em algarismos indo-arábicos. Além disso, não compreendia a organização do sistema numeração posicional, registrando os números de forma escalonada, conforme a figura abaixo:

Figura 19: Atividades de produção numérica desenvolvidas pelo participante durante o AEE

05) DITADO DE NÚMEROS:

27 93 15 120 150 225 4078

~~20~~ 1561 1200200 2250 2015

2098

Fonte: Diário de Pesquisa, 2016.

A atividade da figura 19 consistiu em ditar os números para o aluno escrevê-los e depois realizar a leitura. Percebeu-se que alguns números ditados foram escritos errados, por exemplo, o número ditado 477 foi escrito na forma 4077, assim como, 298 que foi registrado na forma de 2098. Quando foi solicitado que lesse, os lia de maneira correta, sem omitir valores. Diante dessa dificuldade, foi inserido o Material Dourado, recurso que ele conhecia e sabia manipular, nas atividades de matemática, conforme figura abaixo:

Figura 20: Participante no Atendimento Educacional Especializado



Fonte: Diário de Pesquisa, 2016.

A figura 20 ilustra uma tarefa em que o objetivo era provar, utilizando somente o Material Dourado, que em uma centena é composta por dez dezenas. A utilização do recurso manipulável ajudou na compreensão de que em uma dezena tem dez unidades, assim como em uma centena tem dez dezenas ou cem unidades. Essas atividades desenvolvidas no AEE o ajudavam a sentir-se mais motivado para aprender. No entanto, nas aulas regulares não eram da mesma forma.

O aluno não conseguia acompanhar as aulas de matemática. Sempre fazia reclamações sobre as aulas na turma regular, mas que no AEE sentia-se mais seguro para aprender. Em um dos atendimentos, narrou que tinha ouvido a professora de matemática, durante o intervalo na sala dos professores, reclamar sobre ele. A docente lamentava que não sabia como lidar com um aluno do 7º ano que tinha deficiência. Que às vezes fingia que ele não estava na sala de aula e explicava o conteúdo para todos considerando-os capazes de aprender. Essa era a realidade enfrentada por ele todos os dias.

Ao final da pesquisa, ele estava concluindo o 9º ano do Ensino Fundamental, mas frequentando regularmente, duas ou três vezes por semana, no período da tarde, o atendimento especializado. No AEE conta com o apoio de uma psicopedagoga com especialização em Educação Especial e mestrado em Educação e com um educador matemático com especialização em Educação Especial e com mestrado em Educação em Ciências e Matemáticas, além do acompanhamento médico (cardiologista, geneticista, psicólogo e neurologista), sem atendimento do fonoaudiólogo, pois recebeu alta.

Esse contato com o AEE possibilitou que fosse avaliado o neurodesenvolvimento de suas habilidades matemáticas relacionadas à Cognição Numérica. O instrumento de avaliação é descrito a seguir.

2.3 O teste neurocognitivo PROMAT

O conhecimento sobre as limitações apresentados pelo participante em habilidades matemáticas relacionadas a CogN provocou a necessidade de desenvolver uma avaliação neurocognitiva das habilidades matemáticas apresentadas pelo participante, especificamente nos domínios relacionados ao senso numérico, ao processamento numérico e ao cálculo. Para isso, foi selecionado, a partir de leituras de pesquisas em Neurociência Cognitiva e Neuropsicologia (SANTOS, 2017; SANTOS, HAASE, 2015; SILVA, SANTOS, 2016; WEINSTEIN, 2016), um teste validado e padronizado pela comunidade científica para o rastreamento de habilidades numéricas, por exemplo, o teste de sondagem PROMAT.

O instrumento avaliativo PROMAT trata de um roteiro elaborado para sondar o desenvolvimento das habilidades matemáticas referentes à CogN de alunos do 1º no ao 5º ano do Ensino Fundamental. Também é considerado como um instrumento para rastreamento (SANTOS, 2017) das habilidades numéricas comprometidas pela discalculia. Este protocolo permite verificar a defasagem do desenvolvimento neurocognitivo do senso numérico, do processamento numérico e do cálculo, ou seja, as estruturas funcionais que compõem a CogN. Dessa forma, dependendo da natureza da investigação (WEINSTEIN, 2016), permite levantar indicadores do transtorno específico da aprendizagem da matemática ou discalculia.

O PROMAT é composto por um manual de aplicação que traz uma apresentação do instrumento e os pressupostos teóricos que o fundamentam e que

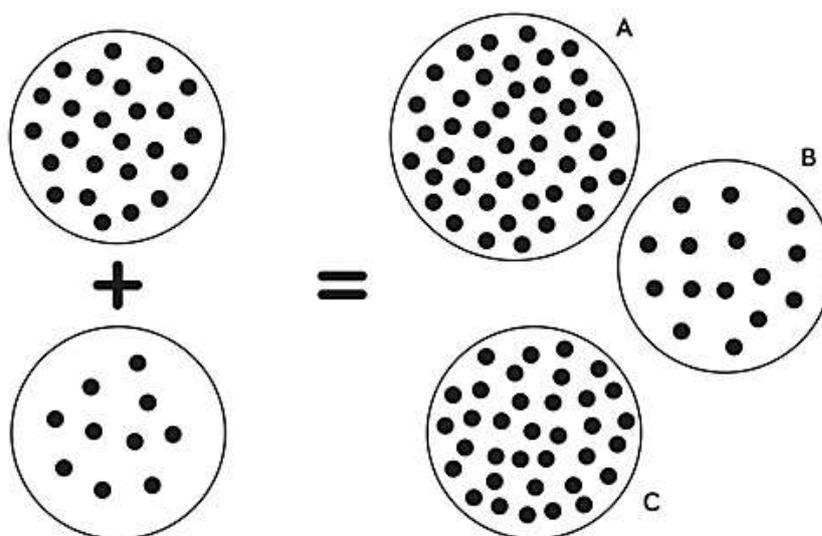
ajuda na interpretação dos resultados. Um caderno de estímulo com fichas e consignas apresentadas ao participante. Um caderno do aluno com folhas para registro das respostas dos itens propostos. O avaliador também tem um caderno para registrar as respostas do estudante avaliado.

Os domínios matemáticos investigados no PROMAT são a Representação Numérica (RN) que envolve o processamento de quantidades não simbólicas e simbólicas; os Fatos Numéricos Básicos (FNB) ou Fatos Numéricos Aritméticos (FNA) que são todas as combinações de adição, subtração, multiplicação e divisão; e a Resolução de Problemas (RP) que é constituído de enunciados (palavras orais ou escritas) que abordam o conhecimento semântico e das relações matemáticas (WEINSTEIN, 2016). Ele é composto por três subtestes.

O subteste RN avalia a estimativa da magnitude numérica não simbólica, a estimativa da magnitude numérica simbólica, a estimativa súbita da magnitude, a contagem numérica, desenvolvimento da contagem oral, a representação simbólica da magnitude, a linha numérica, o valor posicional e a transcodificação numérica.

A figura abaixo ilustra um dos itens do PROMAT que faz parte do domínio representação numérica. Nessa tarefa o aluno precisa, sem contar, juntar os pontos dos dois conjuntos e apontar para o conjunto que acha ter o resultado correto.

Figura 21: Item do subteste de Representação Numérica



Fonte: Weinstein, 2016

Conforme figura acima, este item do subteste de RN consiste em estimar o resultado da adição de conjuntos de pontos sem ter que contá-los. O examinado precisa apontar para o conjunto que acha ter o resultado correto.

O subteste de FNB avalia o conhecimento do procedimento de cálculo, o desenvolvimento de estratégia de cálculo e a fluência de evocação de cálculo. Neste domínio da CogN são avaliadas as habilidades relacionadas às operações aritméticas. Dessa forma, a figura 22 ilustra um dos itens que compõe esse domínio estabelecido pelo PROMAT.

Figura 22: Item do subteste de Fatos Numéricos Básicos

$$3 \times 4 =$$

Fonte: Weinstein, 2016

Neste item o aluno precisa solucionar o cálculo apresentado de forma oral. O pesquisador, oralmente, apresenta o cálculo para a pessoa avaliada e pergunta “quanto é...?”. Orienta que para solucionar a criança pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Ainda pode usar apoio digital, cálculo mental ou lápis e papel. Dessa forma, esse item busca avaliar o procedimento utilizado na solução da situação.

O subteste de RP, por outro lado, avalia a resolução de problemas com enunciados orais e a resolução de problemas com enunciados escritos. Nos problemas orais o estudante avaliado não pode usar suporte digital ou lápis e papel para resolver. No entanto, nos problemas com enunciados escritos o sujeito pode registrar os cálculos no papel, mas ele mesmo faz a leitura do enunciado.

Vejamos um exemplo: “Felipe perdeu 18 figurinhas. Se antes de perdê-las ele tinha 29 figurinhas, com quantas ele ficou” (WEINSTEIN, 2016, p. 161). Neste item, o problema é apresentado por escrito. O aluno, sem ajuda do avaliador, lê o enunciado e registra o cálculo e a resposta. O tempo de solução é indeterminado.

Nesses problemas com enunciados (orais e escritos) são envolvidos conhecimentos de construção semântica e das relações matemáticas, por exemplo, na expressão “perdê-las” espera-se que o aluno consiga relacioná-la com a operação subtração. Da mesma forma espera-se que o estudante recorra às habilidades numéricas básicas e estratégias de resolução variadas.

Segundo orientações (WEINSTEIN, 2016), a classificação do participante no PROMAT é dada com as seguintes categorizações: apresenta discalculia ou transtorno específico de aprendizagem da matemática; apresenta Desempenho Baixo em Matemática; apresenta Desempenho Típico.

Quando o estudante apresenta discalculia ou transtorno específico de aprendizagem da matemática seu desempenho em até 10% no teste padronizado por pelo menos dois anos escolares consecutivos. Por exemplo, um estudante do 5º ano do Ensino Fundamental (EF) que apresentar rendimento igual ou inferior a 10% nos itens do 4º e 5º anos do EF.

Por outro lado, quando o estudante apresenta Desempenho Baixo em Matemática (DBM), seu desempenho acadêmico tem rendimento entre 11% e 25% no teste, também por menos dois anos escolares consecutivos.

Da mesma forma, quando o estudante apresenta um rendimento no teste neurocognitivo acima de 26% dentro da expectativa para sua idade e nível de escolaridade, podemos afirmar que ele possui Desempenho Típico (DT).

Sobre a interpretação dos resultados do pré-teste para fins de intervenção para o treino das habilidades que compõe os domínios da CogN, levou-se em consideração duas perspectivas: o histórico escolar do estudante relacionado às habilidades matemáticas e o desempenho apresentado no teste PROMAT. Conforme os resultados da avaliação neurocognitiva, o aluno foi submetido ao processo de intervenção por meio da ferramenta digital *Dybuster Calcularis*.

2.4 A intervenção digital *Dybuster Calcularis*

A intervenção digital *Dybuster Calcularis* é resultado de anos de pesquisas sobre maneiras de buscar compensar os prejuízos causados pela discalculia em estudantes da Educação Básica. Segundo Santos (2017), desde 2005 em Zurique, professores, neurologistas e cientistas da computação da Universidade de Zurique e do Instituto Federal Suíço de Tecnologia iniciaram o projeto desta ferramenta de intervenção.

A proposta era potencializar as habilidades matemáticas de pessoas com discalculia por meio de uma nova forma de aprender as operações básicas, processamento numérico e outros domínios que compõe a CogN. Conforme os estudos evoluíam, Käser e colaboradores (2012) mostraram que por meio do treinamento digital *Dybuster Calcularis* as crianças com condutas típicas da

discalculia poderiam melhorar, de forma significativa, habilidades relacionadas às tarefas de adição, subtração e linha numérica. Além disso, manifestou-se uma redução da ansiedade matemática.

Os resultados desses estudos e o aperfeiçoamento da ferramenta digital levaram, em 2013, ao lançamento oficial do *Dybuster Calcularis* como um *software* de aprendizagem que ocasiona mudanças positivas no funcionamento cerebral das habilidades inerentes à CogN (SANTOS, 2017).

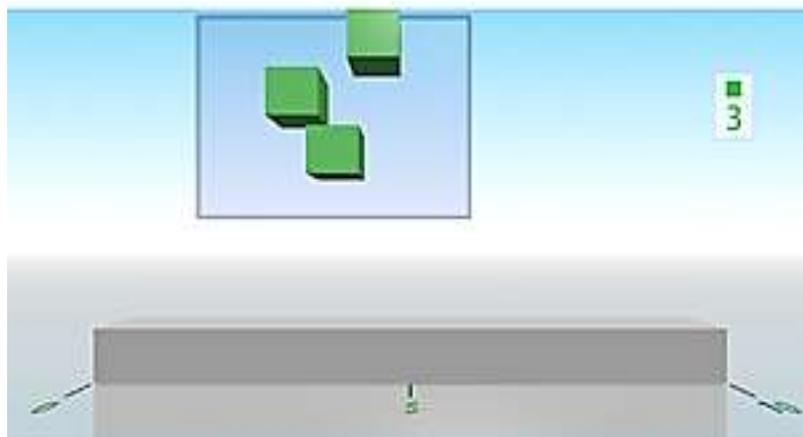
Um estudo desenvolvido por Rauscher *et al.* (2016) com 138 estudantes de faixa etária entre 7 e 11 anos de idade, buscou avaliar o treinamento digital *Dybuster Calcularis* a partir de parâmetros de modelos teóricos e neurocognitivos da CogN. Os resultados da pesquisa revelaram que os alunos mostraram avanços expressivos nos domínios da CogN, principalmente na representação numérica e na subtração. Isso provou que o *software* tem eficácia na potencialidade das habilidades matemáticas, pois a subtração, por exemplo, é considerada como um forte indicador do desenvolvimento da representação espacial numérica.

O *Dybuster Calcularis* é um *software* de aprendizagem matemática que tem a finalidade de tornar o processo de aprendizagem das habilidades que compõe os domínios da CogN mais eficientes, assim, possibilitar que os estudantes tenham mais sucesso nas tarefas matemáticas. Para isso, essa ferramenta combina aspectos da Neurociência Cognitiva, da Psicologia do Desenvolvimento e da Ciência da Computação, para então, oferecer suporte ao desenvolvimento neurocognitivo.

É uma ferramenta planejada para o uso individualizado, pois oferece um treinamento capaz de se adaptar às capacidades e à velocidade de cada aluno individualmente (SANTOS, 2017), além de agir diretamente em regiões cerebrais e habilidades matemáticas onde os sujeitos apresentam maiores dificuldades.

Conforme Kucian *et al.* (2011), o treinamento *Calcularis* promove o desenvolvimento e a interação de diferentes regiões do cérebro envolvidas no processamento de números e funções matemáticas. Por exemplo, a figura 23 ilustra uma tarefa relacionada à habilidade de reconhecer conjuntos numéricos com até 3 ou 4 unidades, sem contar.

Figura 23: Tarefa de processamento numérico



Fonte: *Dybuster Calcularis*, 2017.

Para ter acesso ao *Dybuster Calcularis* é necessário ter uma licença individual *on-line* que permita utilizar os exercícios de intervenção. Além disso, é realizado todo o acompanhamento do desenvolvimento e da performance do aluno. Os treinamentos podem ser realizados de maneira independente, para isso faz-se necessário um computador no espaço onde atua o tutor.

Desse modo, as intervenções ocorreram na sala de recursos multifuncionais e durante o atendimento educacional especializado. Três vezes por semana o aluno era submetido ao processo de treinamento das habilidades matemáticas. Cada sessão tinha duração de 20 minutos. No espaço do AEE era disponibilizado ao estudante um computador com *internet*, pois se tratava de um treinamento informatizado.

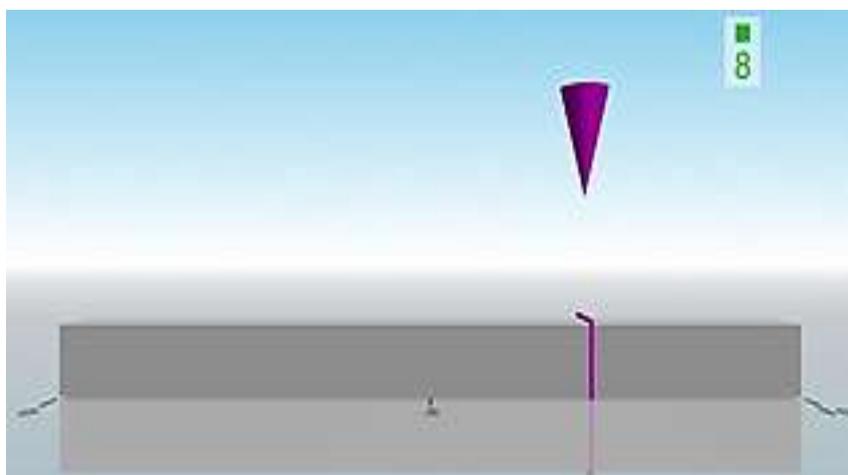
O *Dybuster Calcularis* gerenciava a seleção de tarefas de acordo com o desempenho apresentado pelo aluno. Todo o processo de intervenção teve duração total de 12 horas de treino das habilidades matemáticas mais comprometidas pela discalculia. A cada tarefa o tutorial interagia com o participante informando-o de seus acertos e erros.

O treinamento é composto por 17 tipos de jogos de aprendizagem matemática, totalizando 48 variedades de habilidades. Para melhor utilização dos jogos, há vídeos explicativos que orientam o aluno na execução dos exercícios. Além disso, o participante é acompanhado por um tutor que precisa realizar um curso de aperfeiçoamento que o habilite utilizar o *Dybuster Calcularis*. A figura 24 representa a certificação do tutor (pesquisador).

Figura 24: Certificado para o uso do *Dybuster Calcularis*

Fonte: Diário de Pesquisa, 2018.

O *Calcularis* é subdividido em faixas numéricas crescentes, são elas: faixa de 0 a 10; faixa de 0 a 20; faixa de 0 a 100 e faixa de 0 a 1000. Para cada faixa dessas são propostos exercícios de processamento numérico; de adição e subtração; e multiplicação e divisão. Por exemplo, o jogo pouso certo envolve a habilidade relacionada à linha numérica mental.

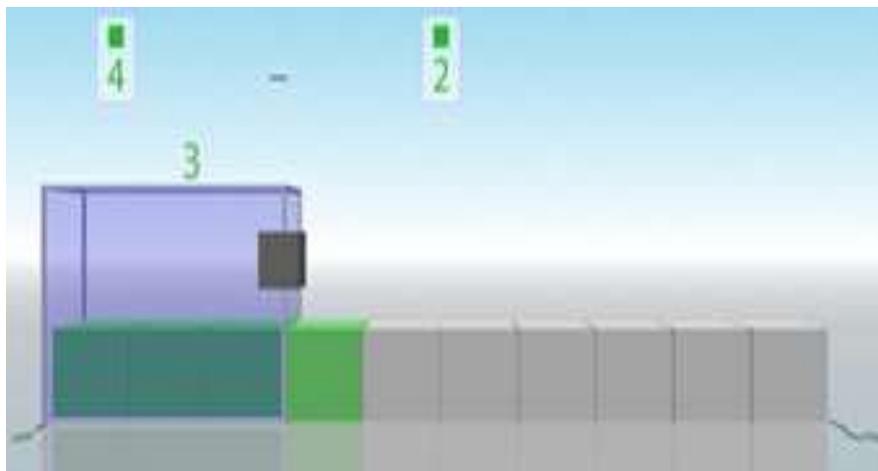
Figura 25: Jogo pouso certo

Fonte: *Dybuter Calcularis*, 2017.

Este exercício, segundo Santos (2017), promove a representação numérica no espaço. O cone vai caindo ao mesmo tempo em que o número é representado no canto superior direito da tela, ou é falado. O estudante precisa, a partir da informação auditiva ou visual, pousar o cone de acordo com a posição definida nas faixas numéricas.

Outros jogos, como a régua de cálculo, possibilitam ao aluno melhorar as habilidades relacionadas ao domínio fato aritméticos básicos. Vejamos um deles:

Figura 26: Jogo régua de cálculo



Fonte: *Dybuster Calcularis*, 2017.

Nesse jogo o participante realizava os cálculos propostos por meio de uma régua com indicação numérica. O aluno, com suporte das setas do teclado do computador, efetuava as operações. Na figura 26, o aluno efetuou a subtração com o apoio da intervenção digital.

Assim, foi pensando na importância que o aprendizado das habilidades matemáticas tem para melhorar os domínios da CogN que o aluno foi submetido às intervenções, conforme mostrou a pesquisa, no próximo capítulo deu-se destaque às competências matemáticas potencializadas a partir do treino digital *Dybuster Calcularis*.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS, DISCUSSÕES E EVIDÊNCIAS DA PESQUISA

*Por que cálculo mental é tão difícil?
Possivelmente o cérebro não foi preparado
para a tarefa de memorizar dezenas de fatos
aritméticos e executá-los sem falha.*

Dehaene, 2011.

As crianças nascem com um senso numérico que pode auxiliar na distinção ou contagem de pequenas quantidades, mas quando confrontadas com situações de cálculo mental seu cérebro precisa recorrer aos diversos mecanismos relacionados à aprendizagem aritmética. Para Dehaene (2011, p. 119), quando a criança está diante de um problema de aritmética, “o cérebro precisa acionar circuitos alternativos para compensar a falta de um circuito cerebral específico para o cálculo e isso implica diminuição da velocidade de processamento, o aumento de concentração e os erros frequentes”. Nesse contexto, o cérebro recorre, principalmente, a procedimentos de contagem ou ao recrutamento de fatos aritméticos armazenados no hipocampo. Logo, alguns aspectos da aprendizagem matemática são dominados precocemente, enquanto outros são adquiridos por educação formal e imitação. Nesse sentido, este capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados das avaliações neurocognitivas (pré-teste e pós-teste) das habilidades matemáticas relacionadas aos domínios da CogN: Senso Numérico, Processamento Numérico e Cálculo. Além disso, busca analisar os resultados da intervenção digital *Dybuster Calcularis*.

O *Senso Numérico* é constituído por habilidades relacionadas à subitização e à estimativa. O *Processamento Numérico* está subdividido em habilidades relacionadas à produção numérica e à compreensão numérica. O *Cálculo* compreende os fatos aritméticos relacionados à adição, à subtração, à multiplicação e à divisão.

Esse capítulo, portanto, está organizado da seguinte forma: resultados e discussões do pré-teste, da intervenção e do pós-teste.

3.1 Resultados e discussões do pré-teste

A avaliação do participante com o uso do PROMAT foi realizada em cinco sessões devido o número extenso de itens. Esse pré-teste refere-se às habilidades matemáticas correspondentes aos três domínios Cognição Numérica. Os encontros ocorreram no espaço do AEE. Duas vezes por semana, o participante era recrutado para realizar as avaliações. A organização deu-se de acordo com a quadro 1 abaixo:

Quadro 1: Organização das sessões de Avaliação Neurocognitiva

Domínios da CogN	Competências da CogN	Nº itens	Sessões	Tempo
<i>Senso Numérico</i>	Subitização	10	Sessão 1	30 minutos
	Estimativa	10		
<i>Processamento Numérico</i>	Contagem Numérica	5	Sessão 2	30 minutos
	Contagem Oral	5		
	Magnitude Numérica	10		
	Linha Numérica	5	Sessão 3	30 minutos
	Correspondência Numérica	5		
	Transcodificação Numérica	10		
<i>Cálculo</i>	Adição	10	Sessão 4	30 minutos
	Subtração	10		
	Multiplicação	10	Sessão 5	30 minutos
	Divisão	10		
Total		100	5	2h:30

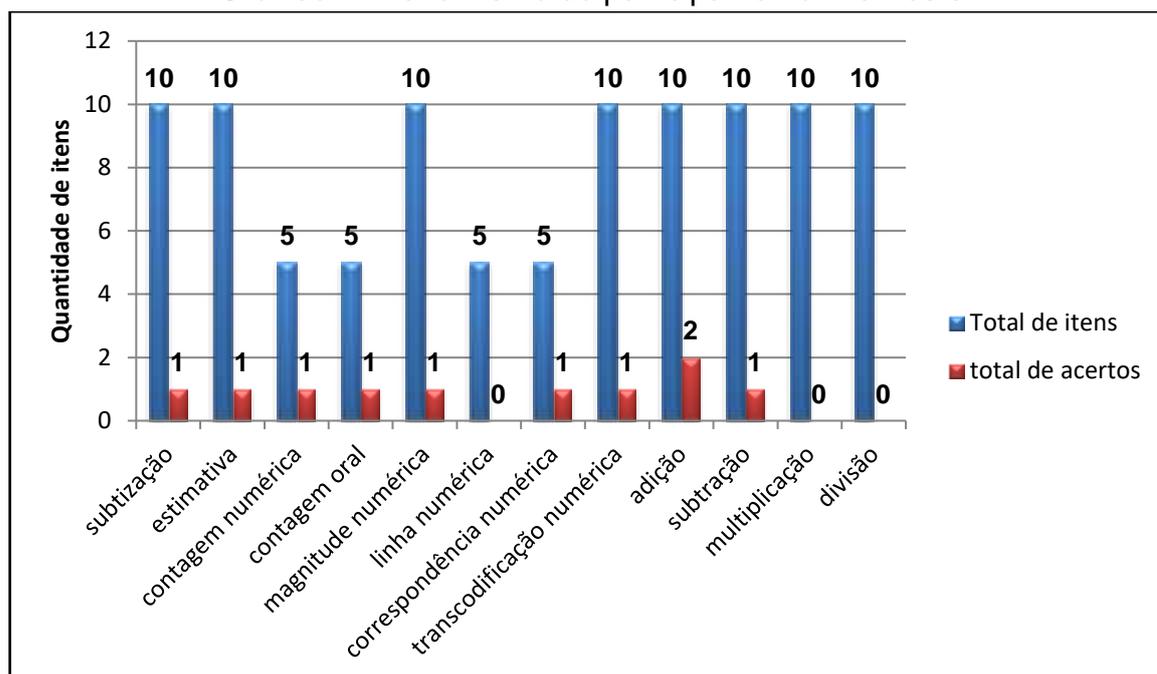
Fonte: Weinstein, 2016.

Em cada sessão o participante ficava sentado em uma cadeira com o apoio de uma mesa. Em cada encontro era explicado como deveria ser procedido, isto é, tentar resolver todos os itens e os que não fossem possíveis de responder poderia ficar em branco. Ao final de cada sessão a ficha de resposta do aluno era recolhida e os pontos eram contabilizados na ficha de resultados do aplicador.

O roteiro de sondagem das habilidades matemática possibilitou verificar as competências da CogN mais prejudicadas pela SW e priorizar as áreas que demandam mais atenção durante o processo de intervenção. A avaliação realizada pode contribuir para que o professor que ensina matemática tenha uma melhor compreensão de que a aprendizagem da matemática é um processo cumulativo e que se dá ao longo da vida escolar, mas para que essas mudanças aconteçam existem demandas sobre o desempenho em habilidades básicas fundamentais, ou seja, há pré-requisitos.

De acordo com as informações produzidas a partir do teste, percebe-se que o estudante avaliado apresentou um rendimento total de 10% considerando os diferentes domínios da Cognição Numérica. Esse resultado, segundo os parâmetros do PROMAT, possibilita inferir que o referido aluno apresenta indícios do transtorno específico da aprendizagem matemática, discalculia.

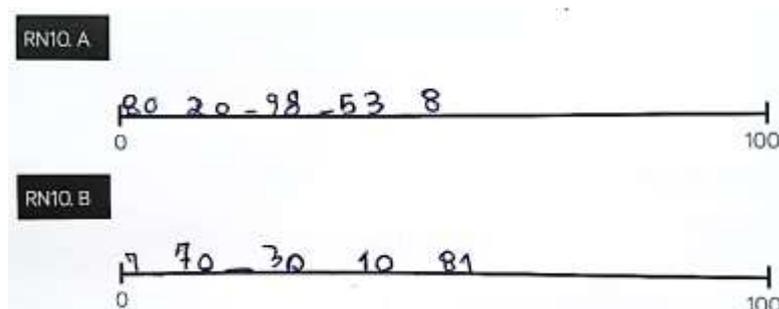
Dessa forma, foi possível categorizar o desempenho do participante por habilidades da representação numérica, o gráfico abaixo.

Gráfico 1: Rendimento do participante no Pré-Teste

Fonte: Teste PROMAT, 2018

Segundo o gráfico 1, o aluno apresenta disfunção em diversos domínios da CogN, mais especificamente no domínio do *Processamento Numérico* e no *Cálculo*. Esses sinais, portanto, são mais evidentes quando avaliados por habilidades específicas, por exemplo, no teste de representação dos numerais na linha numérica o participante apresentou rendimento 0%. Ele foi submetido a cinco itens dessa categoria, mas não conseguiu organizar os numerais em uma reta numérica de 0 a 100.

A tarefa referente à linha numérica consistia em inserir os algarismos 8, 20, 53, 80 e 98, com espaçamento proporcional, em uma linha numérica de 0 a 100. O aluno não tinha o tempo determinado, então poderia utilizar o tempo necessário para executar a tarefa, mesmo assim não conseguiu colocar os números em uma ordem crescente proporcional, conforme a figura abaixo.

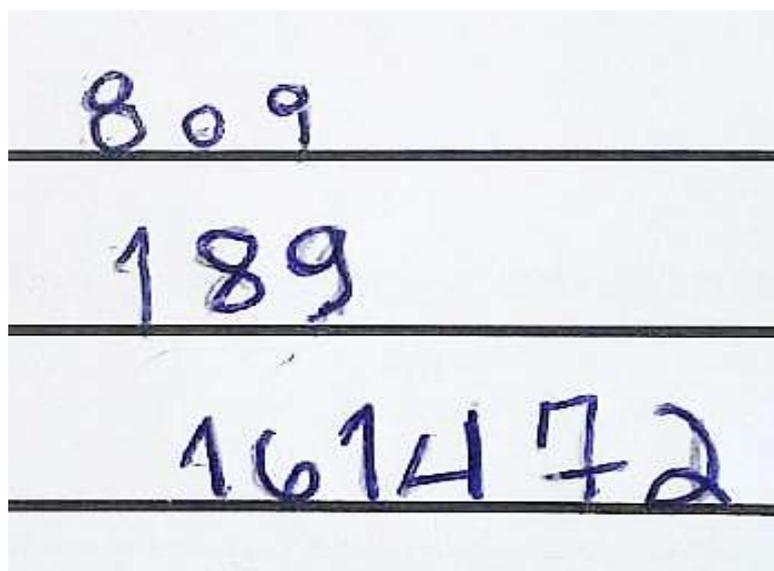
Figura 27: Teste de Linha Numérica

Fonte: Teste PROMAT, 2018.

A avaliação mostrou que o efeito de distância foi comprometido pela SW e isso significa que a habilidade de discriminar o espaço proporcional entre dois números em uma reta numérica foi prejudicada. Dessa forma, pode-se inferir que a numerosidade é representada na forma de uma linha numérica mental, onde valores numericamente similares ocupam aproximadamente a mesma posição no contínuo numérico, impedindo a recuperação de representações apropriadas para números próximos (ROUSSELLE; DEMBOUR; NOËL, 2013). Assim, fica mais difícil comparar ou colocar em uma linha numérica números mais próximos.

A transcodificação numérica foi outra habilidade referente à representação numérica em que o estudante apresentou rendimento insuficiente. Ele foi submetido a 10 tarefas as quais acertou somente 1. Uma disfunção observada nessa habilidade refere-se ao fato de o estudante escrever os números omitindo algarismos ou escrevendo-os de forma escalonada, ou seja, sem considerar o sistema numérico posicional, conforme a figura abaixo.

Figura 28: Teste de Transcodificação Numérica



Fonte: Teste PROMAT, 2018.

Nessa tarefa o aluno tinha que representar numerais falados em algarismos arábicos. Foram ditados os numerais 371, 889, 1089 e 16472. Portanto, o item contemplava numerais de terceira, de quarta e de quinta ordem. O tempo de execução da tarefa era ilimitado. Conforme a resposta do aluno percebe-se que além de omitir numerais, apresentou um padrão de erro que consistiu em adicionar dígitos ao numeral ditado.

Outro aspecto presente na resposta é o fato de escrever o numeral na ordem que foi ditado, por exemplo, 809 ao invés de 889. Esse mesmo padrão de resposta foi observado por pesquisadores em diferentes países (O'HEARN; LANDAU, 2008; MERVIS; JOHN, 2010; ROBINSON; TEMPLE, 2015). Com base nos resultados, foram adotados termos distintos para esse padrão de erro, mas a expressão *escrita expandida* foi a mais utilizada nos relatórios das pesquisas. Em nosso estudo de tese chamamos de escrita escalonada.

Outra tarefa referente à transcodificação numérica que merece destaque refere-se à escrita por extenso de numerais. A figura abaixo aborda aspectos da sintaxe e da semântica dos numerais.

Figura 29: Teste de Transcodificação Numérica

The image shows four lines of handwritten text, each underlined. The first line reads 'SENTENTA NOVE'. The second line reads 'cento cinco NOVE'. The third line reads 'Se - te cento e seis'. The fourth line reads 'Trinta e Cento e Noventa Senta'.

Fonte: Teste PROMAT, 2018.

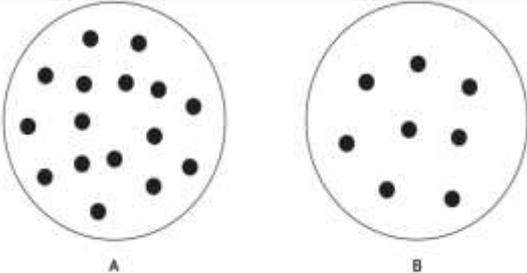
A tarefa consistia em representar algarismos arábicos em numerais escritos. O aluno lia o algarismo e escrevia-o utilizando palavras. Foram apresentados os numerais 79, 159, 706 e 3097. O tempo de execução da tarefa também era ilimitado. A figura mostra que o estudante escreveu o nome dos numerais da mesma forma como leu, por exemplo, “cento” para o algarismo 1, “cinco” para o algarismo 5 e “nove” para o algarismo 9. Ele mostra conhecimento sobre a casa da centena e a casa das unidades, no entanto, desconhece a posição referente à ordem das dezenas.

Nas tarefas de subitização e estimativa, relacionadas ao senso numérico, o aluno apresentou um rendimento de 2 acertos em 20 tarefas do PROMAT. Isso mostra que mesmo sendo um processamento numérico inato, a SW prejudicou o neurodesenvolvimento desse domínio da CogN. Para Dehaene (2011) o processamento da numerosidade pode ser realizado sem o conhecimento formal de

números ou escolarização formal e, em seres humanos, essa habilidade tende a melhorar com o desenvolvimento cognitivo.

O quadro abaixo ilustra uma das tarefas do PROMAT que avalia o desempenho das habilidades relacionadas ao senso numérico.

Quadro 2: Tarefa de Senso Numérico

Item	Estímulo
<p>Tarefa: <i>Comparar a numerosidade de dois conjuntos de pontos sem ter de contá-los.</i></p> <p>Instrução: <i>Sem contar, aponte o conjunto que tem mais pontos.</i></p>	

Fonte: Weinstein, 2016.

Para Weinstein (2016) o senso numérico ou senso de magnitude é um domínio da CogN muito estudado. Para Spinillo (2010), pesquisadora brasileira que desenvolve pesquisas sobre o *Senso Numérico* ou *Sentido de Número*, afirma que os seres humanos têm a capacidade de diferenciar, sem precisar contar, grandes quantidades de pequenas quantidades. É uma capacidade inata dos seres humanos de apreender rapidamente a numerosidade de quantidades pequenas, no entanto, estudantes com discalculia têm essa habilidade comprometida.

Conforme o rendimento do estudante no teste de senso numérico do PROMAT, a SW comprometeu estruturas neurocognitivas que permitiam comparar elementos de um conjunto em relação a outro. Esse comprometimento da CogN vai comprometer outras habilidades relacionadas à capacidade de mapear magnitudes simbólicas e não simbólicas. No entanto, com estímulo e uma intervenção direcionada, gradualmente o estudante pode desenvolver um sistema mais avançado de conhecimento conceitual que vai permitir estabelecer relações entre o processo de contagem e os fatos aritméticos básicos.

Os transtornos da aprendizagem matemática relacionados ao *Processamento Numérico* apresentados pelo aluno com SW são recorrentes de prejuízos (KUCIAN et al, 2011; KAUFMANN, 2012; KÄSER, 2012; JOLLE, 2016) no sulco intraparietal, pois é nessa área cerebral que as informações numéricas primárias são processadas. O sulco intraparietal atua como uma espécie de decodificador

semântico de representação numérica simbólica, por exemplo, dígitos árabes e numerais escritos. Desse modo, pode-se inferir que um prejuízo nessa região cerebral pode afetar mecanismos da aprendizagem da matemática, tais como a combinação de habilidades matemáticas simbólicas e de habilidades não simbólicas que compõe a base das capacidades típicas da representação numérica.

O participante também foi submetido aos testes de *evocação de fatos aritméticos básicos*, ou seja, habilidades relacionadas ao domínio do *Cálculo*. Na presente pesquisa, fatos aritméticos básicos é compreendido como “todas as combinações de adição, subtração, multiplicação e divisão entre dois fatores menores que dez” (WEINSTEIN, 2009, p. 26). A consolidação desse domínio da CogN contribui para a compreensão dos algoritmos tradicionais das quatro operações.

A evocação de fatos aritméticos básicos está diretamente relacionada a dois fatores determinantes para o desenvolvimento da aprendizagem matemática formal: o *conhecimento dos fatos aritméticos* e a *fluência no cálculo*. Esses fatores estão relacionados ao conhecimento de procedimentos; ao desenvolvimento de estratégias para calcular e à evocação precisa de fatos aritméticos.

Todos esses fatores são levados em consideração nos testes do PROMAT. Em um dos testes, o participante deveria solucionar o cálculo apresentado oralmente. O aplicador do teste falava a seguinte pergunta: *Quanto é cinco mais seis?* Para solucioná-la, o participante poderia usar o tempo que fosse necessário, sem precisar explicar seu raciocínio e poderia usar lápis e papel ou o cálculo mental.

Figura 30: Teste de Fato Aritmético Básico

$$5 + 6 =$$

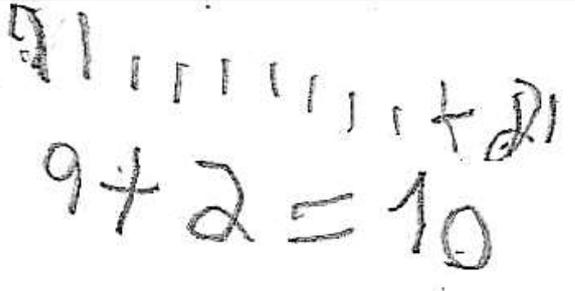
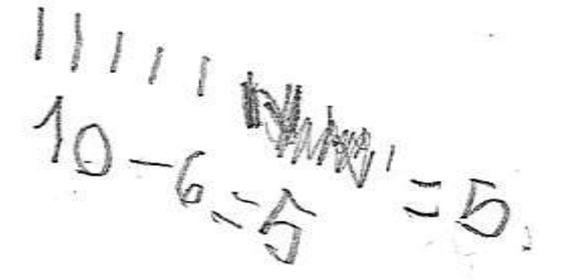
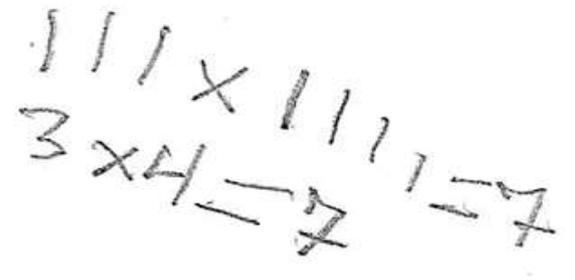
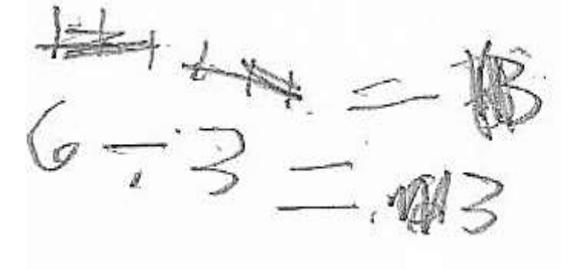
Fonte: Teste PROMAT, 2018.

O indivíduo investigado apresentou baixo rendimento no pré-teste em testes dessa natureza (fig. 30). Um estudo desenvolvido por O'HEARN e LANDAU (2008) sobre as habilidades matemáticas em indivíduos com SW mostrou, por meio de exames de neuroimagem, que áreas parietais e temporais são severamente

prejudicadas em relação a CogN. Essas evidências permitem compreender o baixo rendimento em testes de fatos aritméticos.

Dificuldades em cálculo é uma das características encontradas no participante em relação às habilidades matemáticas. Adições com algarismos menores que dez, como $9 + 2$ são difíceis para o indivíduo com SW, assim como subtração com base no 10, como $10 - 6$. As operações de multiplicação e de divisão também causaram dificuldades ao participante e, geralmente, o procedimento utilizado no cálculo de multiplicação foi o mesmo para adição. O quadro 3 mostra os procedimentos adotados durante o pré-teste.

Quadro 3: Teste de Conhecimento de Procedimento e Estratégia de Cálculo

Tarefas	Resposta do aluno
<p>Tarefa 1: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é nove mais dois?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 2: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é dez menos seis?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 3: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto três vezes quatro?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 4: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é seis dividido por três?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	

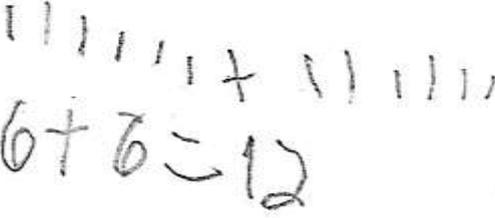
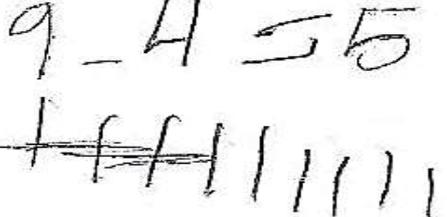
Fonte: Teste PROMAT, 2018.

Os registros da resposta do aluno mostram os prejuízos que a SW causa ao desenvolvimento do acesso automático e preciso desses fatos na memória de longo prazo. Haase e Dorneles (2018) afirmam que os indivíduos com a SW têm dificuldades em evocar fatos aritméticos por terem a memória associativa prejudicada, logo o hipocampo deixa de cumprir com eficiência seu papel na aprendizagem da matemática, pois a “função do hipocampo no contexto da consolidação de fatos aritméticos está vinculado à padrões de associação entre problemas e respostas e, especificamente, relacionado com a consolidação das memórias” (HAASE; DORNELES, 2018, p. 158).

O processo de aprendizagem dos fatos aritméticos básicos passa por três estágios gerais (WEINSTEIN, 2016): *conhecimento de procedimento; desenvolvimento de estratégias e conhecimento declarativo.*

O conhecimento de procedimento, segundo Weinstein (2016), refere-se ao procedimento de contagem. No pré-teste de cálculo do PROMAT, o participante obteve três acertos, dois relacionados à adição e um relacionado à subtração. O sucesso das respostas deu-se devido ter recorrido ao processo de contagem, conforme pode-se observar no quadro 4.

Quadro 4: Teste de conhecimento de procedimento de cálculo

Tarefas	Resposta do aluno
<p>Tarefa 1: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é cinco mais dois?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 2: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é seis mais seis?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 3: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é nove menos quatro?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	

Fonte: Teste PROMAT, 2018.

Os registros do participante mostraram que seu processo de aprendizagem dos fatos aritméticos encontrava-se em um estágio inicial. Weinstein (2016) afirma que nesse estágio o indivíduo precisa construir procedimento de contagem para solucionar o problema proposto, mas se não conseguir resolvê-lo envolvendo o conhecimento de procedimento mesmo sem limite de tempo, pode-se inferir que não conhece procedimentos de contagem e, possivelmente, não está preparado, cognitivamente, para avançar para a memorização, o próximo estágio de aprendizagem dos fatos aritméticos.

O baixo desempenho do participante nos testes de aritmética pode ter origem na falha para dominar processos de contagem e na memória de longo prazo. Um estudo desenvolvido por Geary (2009) com crianças do terceiro ano do Ensino Fundamental com discalculia apontou baixo rendimento nos testes de fatos aritméticos. Quando os estudantes tentavam recuperar fatos aritméticos da memória de longo prazo cometiam muitos erros. Os exames de neuroimagem mostraram pouca ativação cerebral nas regiões do hipocampo. Esse estudo corrobora com a presente pesquisa, pois o participante também apresentou dificuldades para recuperar fatos aritméticos.

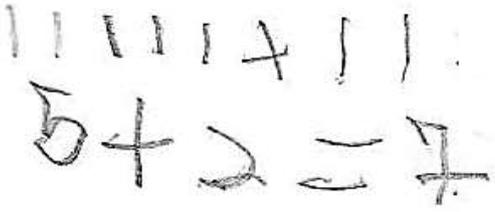
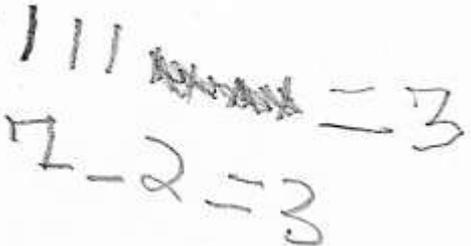
Um segundo estágio consiste no desenvolvimento de estratégias para memorizar os fatos aritméticos e evocá-los. Esse estágio, segundo Weinstein (2016), inclui pares de fatos aritméticos relacionados por propriedade comutativa. Os testes do PROMAT tinham essa característica, tais como $5 + 4$ e $4 + 5$. A autora afirma que outra “estratégia madura consiste em ‘ligar’ um problema a outro problema a ele relacionado, por exemplo, para $5 + 6$, pensar $5 + 5 = 10$ e, então, $5 + 6 = 11$ ” (WEINSTEIN, 2016, p. 28).

Espera-se que nesse estágio do desenvolvimento de estratégias para calcular o foco não está na fluência dos fatos aritméticos ou na sua automação para evocar os fatos, mas na precisão das respostas. Por isso para a resolução de alguns testes do PROMAT não era determinado o tempo de realização, mas o raciocínio de como foi solucionado.

Outra estratégia que pode ser utilizada na solução de problemas de desenvolvimento de estratégias ou memorização consiste em relacionar por pares de familiaridade, como $5 + 4$ e $9 - 4 = 5$. O mecanismo de resolver um teste de adição por subtração ou vice e versa pode ser uma maneira eficaz nos casos de

alunos com SW. O quadro 5 mostra duas tarefas relacionadas ao segundo estágio da aprendizagem de fatos aritméticos.

Quadro 5: Teste de estratégia de cálculo

Tarefas	Resposta do aluno
<p>Tarefa 1: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é cinco mais dois?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, mas precisa explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 2: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é sete menos dois?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, mas precisa explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	

Fonte: Teste PROMAT, 2018.

O quadro 5 mostra que mesmo o participante tenha errado a tarefa $7 - 2$, ele recorre às estratégias que também foram utilizadas na tarefa $5 + 2$. Isso mostra que relacionar pares de fatos aritméticos por familiaridade é uma possibilidade de estratégia para aprender a calcular e isso pode ser mais explorado nas aulas de matemática, principalmente durante o atendimento educacional individualizado.

A consolidação desse segundo estágio possibilita uma mudança de mecanismos predominantemente procedimentais para mecanismos predominantemente de evocação de fatos aritméticos. Essa passagem de conhecimento de estratégias para conhecimento declarativo, caracteriza o último estágio da aprendizagem de cálculo.

Weinstein (2016) e Geary (2009) destacam esse terceiro estágio como um momento da aprendizagem matemática que implica a automaticidade ou evocação direta. Esse estágio também é conhecido como “domínio ou *sobreaprendizagem*, em inglês significa *overlearning*” (WEINSTEIN, 2016, p, 29). O participante da presente pesquisa, quando submetido a testes dessa natureza, não obteve sucesso, pois errou todos os testes. Cho (2011) desenvolveu um estudo de imagem cerebral em que a evocação de fatos aritméticos foi contrastada com a habilidade de resolver problemas de adição e subtração com base no 10 e foram identificadas, pelo menos,

três regiões cerebrais que eram ativadas durante a formação de memória de longo prazo para fatos aritméticos: o córtex pré-frontal, o hipocampo e o córtex parietal.

Como o indivíduo com a SW tem essas regiões cerebrais afetadas, pode-se inferir que o insucesso nas tarefas de evocação pode ter ocorrido devido a inibição dessas áreas cerebrais. O prejuízo no córtex pré-frontal inibe a evocação controlada da informação, o hipocampo não desenvolve a formação de memória aritmética de longo prazo e o córtex parietal apresenta disfunções na representação da magnitude numérica. Todos esses prejuízos corroboram para um baixo desempenho na aprendizagem da aritmética.

Kaufmann e Von Aster (2012) afirmam que os indivíduos com discalculia apresentam dificuldades acentuadas na habilidade de evocar fatos aritméticos básicos. Esses sujeitos apresentam baixo desempenho na evocação e mostram um padrão de erros no recrutamento de fatos aritméticos. Geary (2009) destaca que erros como $6 + 3 = 7$ ou $3 + 2 = 4$ são comuns, pois ocorre um erro na ordem de contagem.

O resultado do pré-teste mostrou que o participante apresenta disfunções neurocognitivas no domínio do Cálculo, mas se durante o atendimento educacional individualizado o aluno conseguir, mesmo que lentamente, evocar um fato da memória aritmética e se o professor usar a prática de exercícios para levá-lo a ter fluência na evocação mais rapidamente, a chave para melhorar o desempenho aritmético desse estudante está na realização de exercícios com instruções adicionais para melhorar a prática, isto é, ao invés de o aluno tentar deduzir o fato, ele precisa aprender a evocá-lo.

Os resultados do teste PROMAT mostraram, portanto, que a pessoa com SW, em relação aos aspectos neurocognitivos da aprendizagem matemática, apresenta disfunção da CogN, contudo esses prejuízos podem ser compensados a partir de intervenção digital para o treino de habilidades matemáticas.

3.2 Resultados e discussões da intervenção digital

O maior desafio desse estudo foi encontrar uma proposta de intervenção adequada com o contexto da investigação, pois o aluno com SW tinha prejuízo em diversos domínios e habilidades que compõe a CogN. Desse modo, a intervenção digital *Dybuster Calcularis* foi bastante oportuna para essa pesquisa porque ofereceu uma proposta completa no que se refere às habilidades matemáticas comprometidas

pela discalculia. Além disso, sua utilização não é restrita aos profissionais da área da neurociência ou psicologia. Essa é uma ferramenta disponível aos educadores.

A intervenção teve duração de 12 horas de treino das habilidades matemáticas relacionadas ao processamento numérico, senso numérico, adição (com reserva e sem reserva), subtração (com recurso e sem recurso), multiplicação e divisão. Além de outras habilidades que compõe a CogN.

O *Dybuster Calcularis* foi programado para ser utilizado individualmente e de forma adaptativa, com a possibilidade de realizar adequações de acordo com as capacidades e a velocidade de execução das tarefas apresentadas pelo estudante, promovendo, sobretudo, apoio ao desenvolvimento neurocognitivo das habilidades matemáticas de maior dificuldade.

Mesmo sendo uma ferramenta de intervenção para os casos de discalculia, ela não foi projetada para pessoas com SW. Segundo a revisão da literatura, pode-se afirmar que esse é o primeiro estudo utilizando o *Dybuster Calcularis* em um caso único de SW.

A *a priori* pode-se afirmar que a intervenção digital trouxe benefícios ao estudante investigado, principalmente, no que concernem às habilidades da representação numérica, tais como estimativa e contagem súbita (habilidade de reconhecer e distinguir conjuntos numéricos com até três ou quatro estímulos sem precisar contá-los); compreensão numérica (verbal, numérica e analógica); transcodificação numérica (verbal, numérica e analógica); linha numérica; comparação de quantidades (maior ou menor) e intervalos numéricos.

O tratamento estatístico dado às informações fornecidas pelo *Dybuster Calcularis* foi realizado pela própria ferramenta. A seleção dos estímulos também é realizada pela intervenção digital. Inicialmente os exercícios foram selecionados em um intervalo numérico de 0 a 10. Somente após mostrar domínio nesse intervalo, o estudante foi submetido à intervenção na escala de 0 a 20.

Nas tarefas propostas pelo treinamento *Calcularis*, os números eram distribuídos de várias maneiras, por exemplo, em quantidades concretas representadas por esferas; em números falados para estimular o sentido sensorial auditivo; em números arábicos (estímulo sensorial visual); em uma linha numérica (disposição espacial).

Por meio das animações computadorizadas do *Calcularis* foi possível mapear e transmitir sistematicamente diferentes representações numéricas. A seleção dos

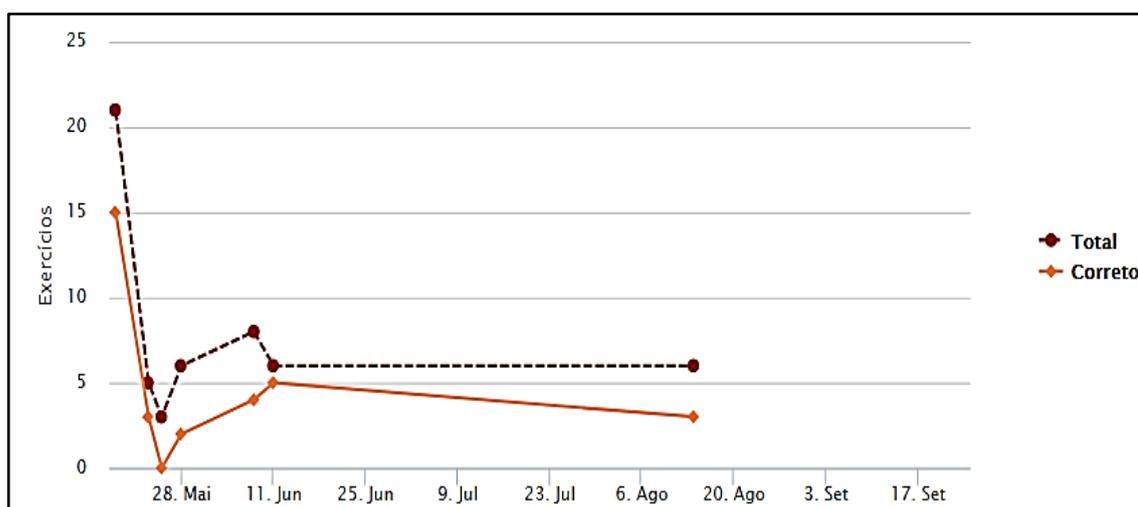
estímulos foi automática, mas baseada nas habilidades individuais para que permitisse um melhor desempenho pela possibilidade de criação de condições básicas para a aquisição de o máximo de habilidades matemáticas.

A habilidade relacionada ao senso numérico era estimulada por meio de dois jogos: relâmpago e estimativa. No jogo relâmpago, era apresentado ao aluno um número ou uma quantidade representada por dedos de uma mão e, no canto superior esquerdo da tela, uma caixa na qual blocos eram apresentados rapidamente. O estudante deveria apertar a tecla *Enter* quando a quantidade que aparecia dentro da caixa correspondesse com o número apresentado.

O jogo *Estimativa* tinha como objetivo promover o reconhecimento de diferentes quantidades. Um número ou uma quantidade eram apresentados ao estudante que era estimulado a reconhecer visualmente a caixa que tinha a quantidade correspondente.

O gráfico 2 mostra o rendimento do aluno em dois exercícios que fazem parte do treinamento, são eles: jogo *Relâmpago* e o jogo *Estimativa*.

Gráfico 2: Rendimento do participante nas tarefas do Senso Numérico



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

O gráfico corresponde ao rendimento do aluno nos exercícios relacionados ao senso numérico. A linha pontilhada representa a quantidade de exercícios propostos pelo *Calcularis* e a linha contínua representa o número de acerto. O treinamento dessa habilidade deu-se de 18 de maio a 18 de agosto. O tempo de treino foi de 40 minutos e 15 segundos. Foram propostas 55 atividades durante todo o período e o estudante obteve êxito em 32 exercícios, isso significa um rendimento total de 58%.

Em uma análise mais detalhada, no dia 18 de maio a intervenção propôs 21 exercícios de senso numérico, dos quais o aluno acertou 15 (rendimento de 71%). No dia 25 de maio foram propostos 5 exercícios e o estudante acertou 3 (rendimento de 60%). No entanto, no dia 11 de junho ele teve um rendimento de 83%, e com base nesse resultado o *Calcularis* compreendeu que essa habilidade do senso numérico tinha sido compensada e até 18 de agosto não foi proposto nenhum exercício desse domínio.

Em agosto o *Calcularis* retomou alguns exercícios de subitização e estimativa, a retomada ou revisão das habilidades era outra característica do treinamento. Nessa ocasião, foram propostos mais 6 exercícios e o aluno acertou 3 (rendimento de 50%). O gráfico mostrou uma oscilação no rendimento do aluno, mas alguns erros cometidos, segundo observações realizadas durante a intervenção, foram recorrentes de falta de concentração e não de baixo desempenho na realização dos exercícios. A pessoa com SW apresenta conduta típica de transtorno de déficit de atenção (TDA). Esse é um problema que também contribui para a discalculia.

Geary (2013) afirma que os estudantes que têm melhor capacidade para manter o controle da atenção e ignorar as distrações internas (por exemplo, algo que venha a mente no momento de execução de uma tarefa) e distrações externas (por exemplo, uma porta que abre durante a realização de um exercício) aprendem mais rápido do que pessoas menos atentas. Corroborando com o autor, o controle de atenção se manifesta como a capacidade de manter as informações relevantes para alcançar o objetivo proposto em uma tarefa, e também como a capacidade de permanecer focado e organizado em ambientes de sala de aula.

Dessa forma, o controle de atenção e o controle de inteligência estão relacionados, mas contribuem independentemente para a aprendizagem da matemática (GEARY, 2013). Por exemplo, o aspecto principal da inteligência é a facilidade de compreender informações abstratas que incluem relações lógicas e sistemáticas entre os numerais e os procedimentos utilizados na execução de uma tarefa.

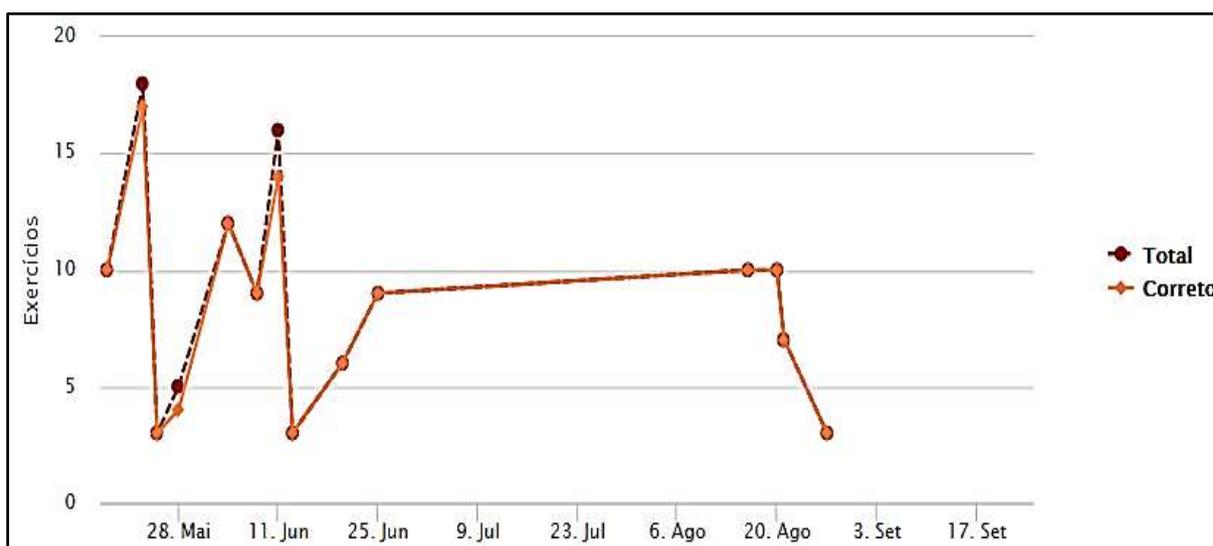
Portanto, o desenvolvimento de habilidades relacionadas ao senso numérico auxilia no aperfeiçoamento do cálculo mental e do cálculo por estimativa, por isso a importância de explorá-lo nas aulas de matemática (CEBOLA, 2002). A intervenção mostrou que é possível melhorar o desempenho dessa habilidade, desde que as atividades sejam direcionadas.

Outra habilidade que merece destaque é o processamento numérico. Ler, escrever e contar números são elementos que fazem parte da estrutura secundária da CogN, além de compreender a natureza simbólica dos números.

Com base nessas habilidades, o *Calcularis* propôs exercícios para o treinamento do processamento numérico, tais como o jogo *Conversão* e o jogo *Sequência Numérica*.

No jogo *Conversão* era introduzido ao estudante o contato com a representação de unidade, dezena, centena e milhar. Ele ouvia e/ou via um número e, em seguida, clicava em um botão com os símbolos de mais ou de menos, indicando quantas unidades, dezenas, centenas ou milhares eram necessárias para representar o número indicado pelo *Calcularis*. O gráfico 3 mostra o avanço do desempenho do aluno nos exercícios de processamento numérico.

Gráfico 3: Rendimento do participante nas tarefas de Processamento Numérico



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

O treinamento dessa habilidade deu-se de 18 de maio a 28 de agosto. O tempo de treino foi de 1 hora e 20 minutos. Foram propostas 121 atividades durante todo o período e o estudante obteve êxito em 117 exercícios, isso significa um rendimento total de 97%.

No dia 18 de maio foram propostas atividades de processamento numérico no intervalo numérico de 0 a 10. Nessa primeira experiência o estudante apresentou rendimento de 100%. Isso mostrou que as habilidades de leitura, escrita e contagem (ascendente e descendente) de 0 a 10 foram conservadas.

No dia 21 de maio, o *Calcularis* direcionou as atividades de processamento numérico para uma escala de 0 a 20. Nesse dia foram propostos 18 exercícios, dos quais acertou 17. Isso mostrou um pequeno decréscimo no rendimento, mas nada que pudesse preocupar a eficácia do treinamento. No dia 25 de maio, novos exercícios foram propostos, foram somente três tarefas e o estudante acertou todas, assim mantendo o rendimento de 100%.

No dia 28 de maio, os exercícios de processamento numérico foram retomados. De 5 exercícios, 4 deles foram realizados com êxito. Nos dias 4 e 6 de junho o *Calcularis* repetiu as tarefas e o aluno obteve rendimento de 100%. No entanto, a escala de 0 a 20 manteve-se proposta para o dia 8 de junho, foram 16 exercícios dos quais acertou 14. Apesar de alguns erros, o desempenho do estudante manteve-se excelente, pois a partir de 11 de junho até o final do treino, obteve um rendimento de 100% nas habilidades do processamento numérico.

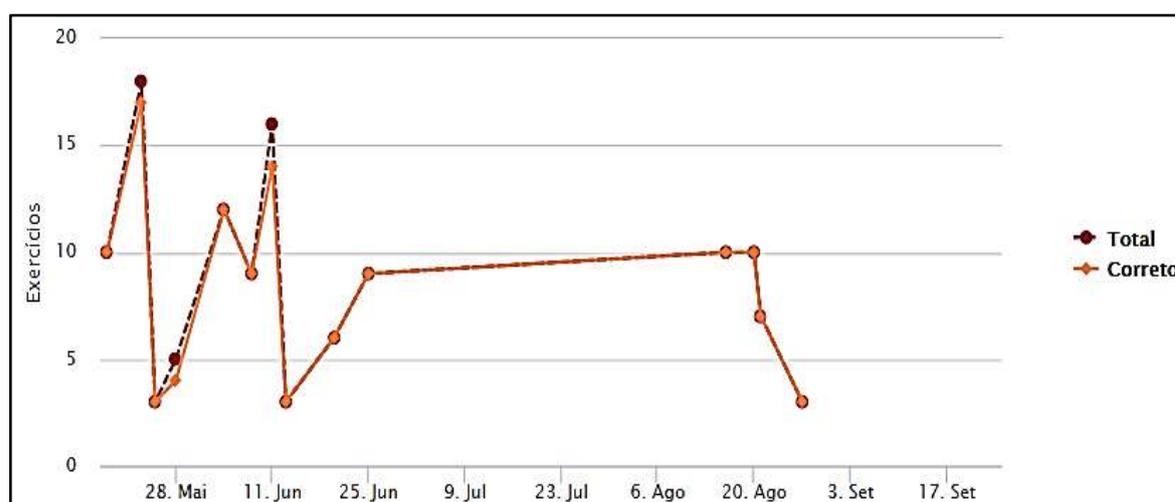
O gráfico 3 mostrou que a capacidade de ler e escrever números utilizando símbolos, palavras ou dígitos por meio de um sistema numérico formal puderam ser compensadas, pelo menos para uma escala de 0 a 20. O *Calcularis* não ampliou a escala para um novo intervalo, pois se esperava que o estudante tivesse melhor desempenho em outras habilidades do processamento numérico.

Conforme mostrou o resultado, os prejuízos acometidos pela discalculia no que concernem as habilidades do processamento numérico (produção numérica e compreensão numérica) podem ser compensados com treinamento digital e orientação individualizada. Assim, pode-se inferir, com base nos estudos de neuroimagem realizados por Jolle *et al.* (2016), que as informações relacionadas à leitura e à escrita numérica podem estar situadas na mesma região cerebral, no sulco intraparietal.

O desenvolvimento das habilidades de processamento numérico implica nas habilidades de cálculo, pois ela antecipa ao desenvolvimento dos fatores aritméticos básicos. Isso foi verificado nos estudos de Jolle *et al.* (2016) realizados com adultos. Quando os participantes eram submetidos às tarefas de processamento numérico e às de cálculo, os exames de neuroimagem mostravam aumento da atividade cerebral no sulco intraparietal. Portanto, as habilidades do processamento numérico e do cálculo são adquiridas por meio do ensino formal, ou seja, não natural, diferentemente de como ocorre com o senso numérico.

No jogo *Sequência Numérica* o estudante respondia a uma série de números ascendente ou descendente. Esse exercício estimulava habilidades inerentes à linha numérica mental, base dos aspectos neurocognitivos relacionados à ordinalidade e ao pensamento aritmético que irá influenciar nas operações (adição, subtração etc.). O gráfico 4 mostra o desempenho no processamento numérico ao que se refere à linha numérica.

Gráfico 4: Rendimento do participante nas tarefas de Linha Numérica



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

Os exercícios relacionados à linha numérica deram-se de 18 de maio a 30 de agosto. Nesse período, foram realizados 121 exercícios do jogo Sequência Numérica, dos quais obtive 117 acertos, ou seja, um rendimento de 96%. O tempo de treinamento foi de 1 hora e 40 minutos.

O gráfico, portanto, mostra um desempenho significativo da linha numérica. O desenvolvimento da linha numérica implica positivamente na aprendizagem de outras habilidades matemáticas, como por exemplo, estimativa de magnitude numérica superiores a três e quatro elementos e o valor posicional de um número no sistema arábico.

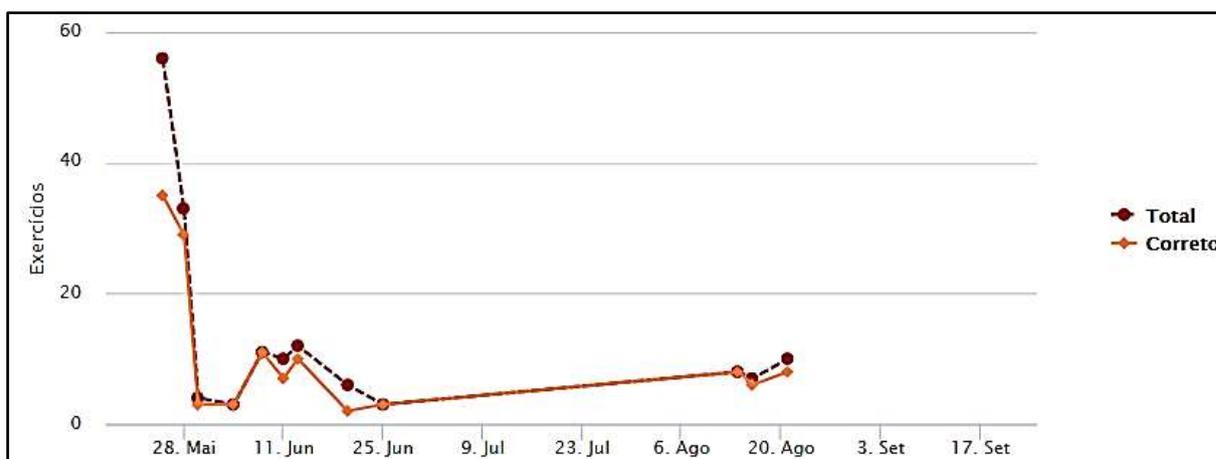
Para Geary *et al* (2015), a linha numérica é baseada em um sistema de magnitude numérica localizadas em áreas específicas dos córtex parietais esquerdos e direitos e quando o estudante apresenta condutas típicas da discalculia essas áreas ficam comprometidas, no entanto, com a escolarização formal, os prejuízos recorrentes do transtorno específico da aprendizagem matemática podem ser compensados com práticas pedagógicas especializadas ou com intervenção

neurocognitiva. A compreensão e a capacidade de usar a linha numérica é um aspecto central para ampliar as habilidades relacionadas ao processamento numérico e ao cálculo.

Na perspectiva de melhorar ainda mais as habilidades da linha numérica, o *Calcularis* direcionou os exercícios para o jogo *Pouso certo*. Este exercício promoveu a representação numérica no espaço (reta numérica). Um cone caía e, concomitantemente, um número era representado no canto superior da tela ou falado. Em seguida, o estudante tinha que pousar o cone de acordo com número anunciado.

Os exercícios da reta numérica podem ser considerados difíceis para quem tem Síndrome de Williams, pois essa habilidade matemática é comprometida de forma severa, mas o *Calcularis* melhorou significativamente o desempenho do aluno investigado, conforme o gráfico 5.

Gráfico 5: Rendimento do participante nas tarefas de Reta Numérica



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

Os exercícios da reta numérica foram direcionados pelo *Calcularis* a partir do dia 18 de maio. No total, foram propostas 160 tarefas do jogo *Pouso certo*, dos quais o estudante acertou 125 deles, ou seja, obteve um rendimento de 78%. O tempo de treino dessa habilidade foi de 48 minutos. Desse modo, cada sessão destinou-se, em média, 4 minutos de treinamento.

Os exercícios possibilitaram ao aluno inserir números em uma reta numérica de 0 a 10 e de 0 a 20. A cada novo exercício o estudante conseguia organizar os valores numéricos em uma ordem crescente com espaçamentos proporcionais. Para Dehaene (2011) nossa “régua mental” com a qual medimos os números não é

graduada com marcas regularmente espaçadas. Corroborando com o autor, o cérebro organiza as quantidades comprimindo números maiores em um espaço menor, ou seja, seguindo uma escala logarítmica em uma reta numérica, no entanto, essa precisão diminui à medida que os valores numéricos aumentam.

Desse modo, os numerais são representados mentalmente ao longo de uma linha numérica mental e essa representação se torna mais precisa de uma perspectiva logarítmica para uma maneira linear à medida que o neurodesenvolvimento da CogN evolui. No caso dos alunos com discalculia, as intervenções neurocognitivas auxiliam nesse processo, conforme ficou evidenciado nos gráficos 4 e 5.

Com base nos resultados da intervenção *Calcularis*, pode-se citar um recente estudo longitudinal de cinco anos (MOELLER *et al*, 2018) sobre a estimativa da linha numérica. Nesta pesquisa, foram propostas estratégias de ordenação como intervenção para melhorar o desempenho dos participantes nessa habilidade do processamento numérico. Os sujeitos ordenavam, um a um, números sucessivamente (ordenação local) e também realizavam ordenação de números em pequenos grupos de dez elementos (ordenação global). O estudo apontou que os dois tipos de ordenação eram bem-sucedido durante as tarefas, ou seja, os números eram organizados em uma reta numérica em uma escala linear e em uma escala logarítmica. Dessa forma, esses resultados forneceram evidências de que os participantes utilizaram estratégias diversificadas de ordenação ao resolver tarefas de estimativa da linha numérica nos estágios iniciais do processamento numérico.

O resultado da intervenção *Calcularis* mostrou uma mudança de padrão de estimativa logarítmica para um padrão linear, mas essa alteração depende do formato da linha numérica e do intervalo numérico. Por isso, o *Calcularis* dividiu a tarefa em dois intervalos, de 0 a 10 e de 0 a 20. Para Moeller *et al* (2018) quando eram propostas tarefas usando algarismos arábicos (simbólico) na reta numérica os participantes recorriam ao modelo linear, mas quando a reta numérica era graduada usando pontos (não simbólico) utilizavam o padrão logarítmico.

Durante a intervenção *Calcularis* percebeu-se a mudança de padrão de uma escala linear para uma logarítmica quando o jogo *Pouso certo* alterava a faixa de número. Por exemplo, quando os exercícios de linha numérica tinham escala de 0 a 10 o participante recorria ao padrão linear, no entanto, quando a faixa numérica era graduada de 0 a 20 ele recrutava o padrão logarítmico. Assim, pode-se inferir que as

múltiplas representações da linha numérica mental podem coexistir ao mesmo tempo.

Os resultados da intervenção *Calcularis* mostraram que o processamento de números faz parte de uma ampla gama de atividades numéricas, como o senso numérico, a contagem, a estimativa, a magnitude numérica simbólica e não simbólica. Além disso, apontou também que as habilidades relacionadas ao processamento numérico são precedentes ao cálculo.

Após dominar habilidades referentes ao processamento numérico, o *Calcularis* direcionou a intervenção aos jogos de cálculo, são eles: *Calculadora*, *Régua de Cálculo* e *Cálculo de Esferas*.

No jogo *Calculadora* é introduzido a ideia de multiplicação por meio de adições de parcelas iguais. Um cálculo é proposto pelo *Calcularis* e o participante deve digitar o resultado do exercício em uma caixa destacada.

No jogo *Régua de Cálculo* o participante deve realizar um cálculo proposto pelo *Calcularis*. Uma régua com indicação numérica é apresentada, e o participante deve movimentar uma caixa transparente de forma que a quantidade indique o resultado da conta.

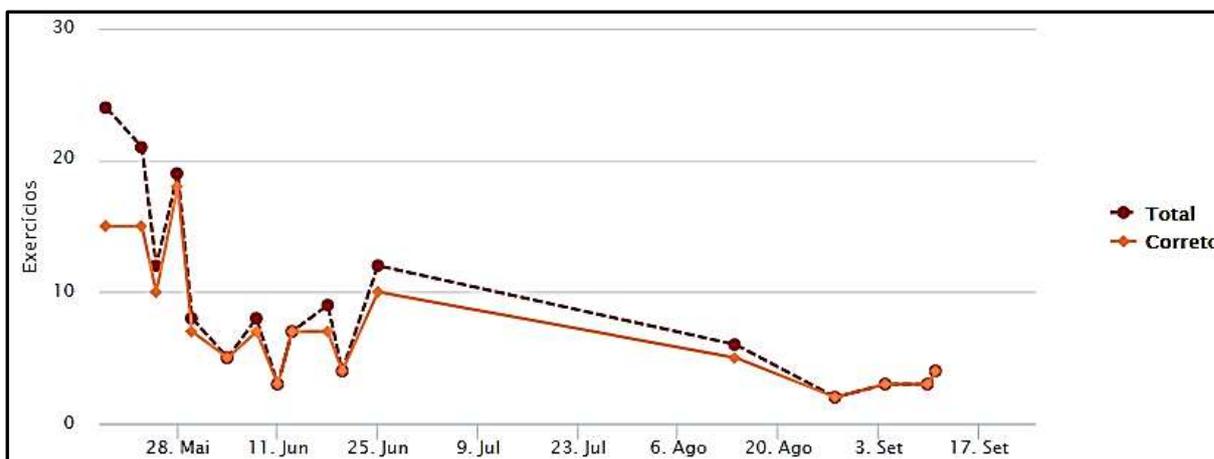
No jogo *Cálculo com Esferas* o participante também trabalha com operações matemáticas de adição e subtração, tendo que realizar um cálculo proposto utilizando esferas. O participante deve representar a quantidade correta, de acordo com o resultado do cálculo, aumentando ou diminuindo as esferas que lhe são representadas.

Os cálculos propostos nos três jogos eram escalados em um intervalo de 0 – 10, ou seja, cálculos com base no 10. Neles o participante poderia recorrer ao processo de contagem, à estratégia de cálculo e/ou à evocação de fatos aritméticos.

O *Calcularis* direcionou a intervenção relacionada ao domínio do cálculo a partir do dia 18 de maio de 2018. No total, foram propostos 150 exercícios referentes aos três jogos de cálculo de adição, dos quais acertou 125 deles, isto implica em um rendimento de 83%. O tempo de treino das habilidades de cálculo de adição foi de 1 hora e 26 minutos. Esses exercícios foram distribuídos em 17 sessões que variavam na quantidade de itens a serem resolvidos, por exemplo, no dia 18 de maio foram propostos ao participante 25 exercícios, dos quais ele acertou somente 15, ou seja, um rendimento de 60% e no dia 21 de maio o *Calcularis* propôs 21 exercícios, dos quais o participante acertou 15 deles, ou seja, mesmo apresentando o mesmo

número de acertos, o rendimento foi de 71,43%. Isso mostra a melhora do desempenho do participante em tarefas de adição sem reserva e sem limite para calcular. Esses resultados estão indicados no gráfico 6.

Gráfico 6: Rendimento do participante nas tarefas de cálculo de adição (sem limite de tempo)



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

Devido o excelente desempenho do participante nos exercícios de processamento numérico, o *Calcularis* direcionou o treinamento para o jogo *Calculadora*, portanto, as duas primeiras sessões de treino exigiram do participante a evocação de fatos aritméticos, ou seja, habilidades do terceiro estágio do cálculo. Conforme os prejuízos causados pela SW, o rendimento ficou abaixo de 75% em exercícios de cálculo de adição com base no 10 e diante desses resultados, em 23 de maio o *Calcularis* redirecionou a intervenção para o jogo *Régua de Cálculo*.

No jogo *Régua de Cálculo* o participante poderia resolver as adições por meio de contagem, primeiro estágio da aprendizagem de cálculo. O gráfico mostra que esse redirecionamento implicou em um melhor desempenho nos exercícios, pois de 12 tarefas o participante acertou 10 delas, isso implicou em um rendimento de 83,33%.

Sobre a utilização de processos de contagem em exercícios de cálculo, Butterworth (2005) afirma que a contagem, para a maioria das crianças, é a base da aprendizagem de cálculo. As observações realizadas durante a intervenção possibilitaram inferir que o participante ao enfrentar uma situação de cálculo de adição de duas parcelas com resultado no 10, contava, muitas vezes nos dedos, a

quantidade de elementos de cada conjunto disjunto. Com o tempo, guardava alguns fatos aritméticos, como $2 + 2$; $3 + 2$; $4 + 1$ e $3 + 3$.

No início da aprendizagem de cálculo, o aluno recorre à cardinalidade, isto é, o significado de adição e subtração está no fato de recorrer a uma sequência numérica e que cada número ocupa um lugar nessa sequência, por isso o Calcularis direcionou o participante para o jogo *Régua de Cálculo*. Nele o participante poderia indicar o resultado da conta em uma régua numérica, por exemplo, para calcular $5 + 3$, a régua indicava o número 5 e o participante deveria movimentar, por meio de contagem, uma caixa transparente mais três casas até chegar ao número 8, que era o resultado do cálculo.

O desempenho do participante no jogo *Régua de Cálculo* mostra um estágio da aprendizagem de cálculo que consiste em contar a partir do primeiro número, por exemplo, em $5 + 3$, o participante conta a partir do 5, ao invés de *contar tudo*. Butterworth (2005) explica que *contar tudo* significa contar “um, dois, três” em uma das mãos e depois contar, na outra mão, “um, dois, três, quatro, cinco” para em seguida recontar, utilizando as duas mãos, “um, dois, três, quatro, cinco, seis, sete, oito”. Isso implica contar tudo.

O participante utilizou a habilidade de *contar a partir do primeiro número* (BUTTERWORTH, 2005). Por exemplo, na adição $5 + 3$, o participante começava a contar do 5 e depois contava mais 3 para obter a solução. Então, ele não contava mais o primeiro número. Percebeu-se que durante a resolução dos exercícios, o participante sempre começava a contar pelo primeiro, no caso do exemplo, iniciava com a palavra “cinco” e, em seguida, “seis”, “sete”, “oito” e indicava o resultado da adição.

As estratégias utilizadas pelo participante para encontrar o resultado da operação mostra que utiliza de recursos aritméticos característicos de estudantes de 6 ou 7 anos de idade, pois contar nos dedos ou fazer riscos para calcular são estratégias típicas de crianças (BUTTERWORTH, 2005). Mesmo que o participante tenha utilizado processos de contagem para calcular, os resultados da intervenção apontam para a possibilidade de aprender aritmética.

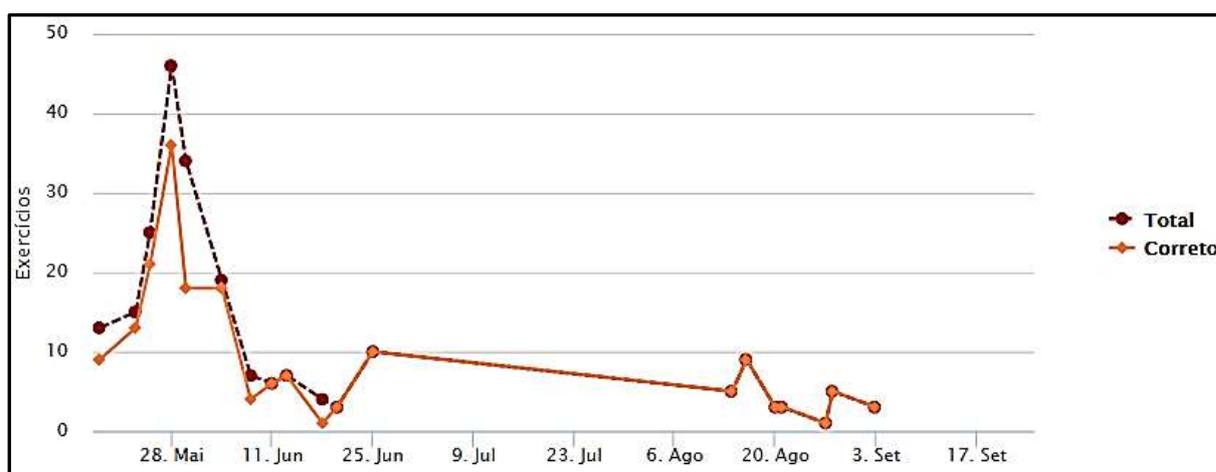
Esse potencial para a aprendizagem de cálculo ficou mais evidente no jogo *Cálculo com Esferas*. Nesse jogo o participante realizou cálculos utilizando esferas, ele tinha que contar mentalmente a quantidade de esferas de cada conjunto e digitar a quantidade correta.

De acordo com o gráfico 6, no dia 05 de junho o *Calcularis* redirecionou a intervenção para o jogo *Cálculo com Esferas*. De 5 exercícios o participante acertou todos e a partir desse período obteve rendimento nos testes superior a 90%. Esses resultados possibilitam afirmar que a organização de exercícios que envolvem os três estágios da aprendizagem de cálculo pode compensar os prejuízos causados pela discalculia. É nesse contexto que a presente pesquisa defende o atendimento educacional individualizado, pois conhecer os mecanismos de aprendizagem de sujeitos acometidos pela SW é importante para propor situações de ensino que contribuam para a construção do conhecimento matemático.

Os mecanismos utilizados pelo participante para calcular os exercícios propostos durante a intervenção podem auxiliar na construção de memória aritmética de longo prazo. Dehaene (2011) afirma que adultos que usam estratégias de contagem para resolver problemas aritméticos podem, provavelmente, desenvolver memória aritmética de longo prazo, mesmo aqueles com discalculia, entretanto o autor alerta para a importância de um acompanhamento a longo prazo e individualizado.

Após apresentar avanço no desempenho referente aos exercícios de adição, o *Calcularis* direcionou a intervenção para as tarefas de subtração. O gráfico 7 mostra o rendimento do participante nessa habilidade.

Gráfico 7: Rendimento do participante nas tarefas de cálculo de subtração (sem limite de tempo)



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

O participante foi submetido a um total de 218 exercícios e acertou 175, isso significa um rendimento de 80%. O tempo de treinamento foi de 2 horas e 55

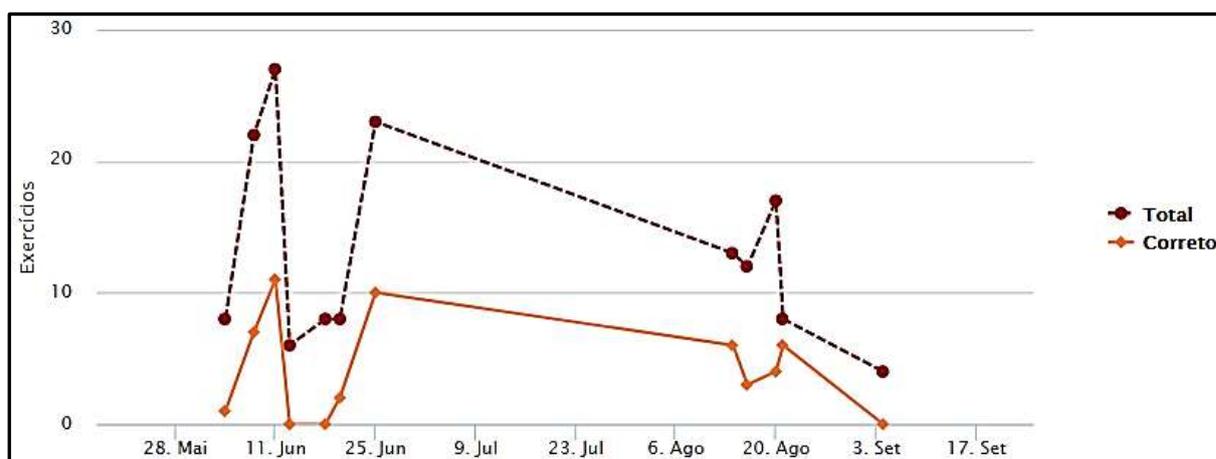
minutos. O gráfico mostra um rendimento compatível com o apresentado nas tarefas de adição. Todos os cálculos de subtração tinham base no 10. Os exercícios poderiam ser resolvidos em um tempo indeterminado e com a utilização de recursos, como lápis e papel ou cálculo mental.

O *Calcularis* direcionou dezenove sessões de exercícios de subtração sem limite de tempo. Em oito sessões o participante apresentou erros, mas sempre um rendimento acima de 75% de acertos. Os exercícios das três primeiras sessões foram com base no jogo *Calculadora*, mas como esse jogo requeria evocar fatos aritméticos da memória de longo prazo o participante cometeu erros e o *Calcularis* redirecionou a intervenção para o jogo *Régua de Cálculo*.

O resultado da intervenção de subtração reforça a ideia de que pessoas com SW recorrem ao processo de contagem para enfrentar situações de cálculo de adição e de subtração e que nessas condições levará mais tempo para aprender os princípios básicos do cálculo. Nesse sentido, a presente pesquisa afirma que se o professor compreender como funciona o processo de aprendizagem de alunos com SW, ele poderá melhor contribuir com o desenvolvimento das habilidades da CogN.

Conforme o desempenho apresentado pelo participante nos exercícios de adição e de subtração sem limite de tempo, o *Calcularis* direcionou a intervenção para exercícios de evocação de fatos aritméticos com limite de tempo. O gráfico 8 mostra o desempenho do participante nos exercícios.

Gráfico 8: Rendimento do participante nas tarefas de Evocação de Fatos Aritméticos

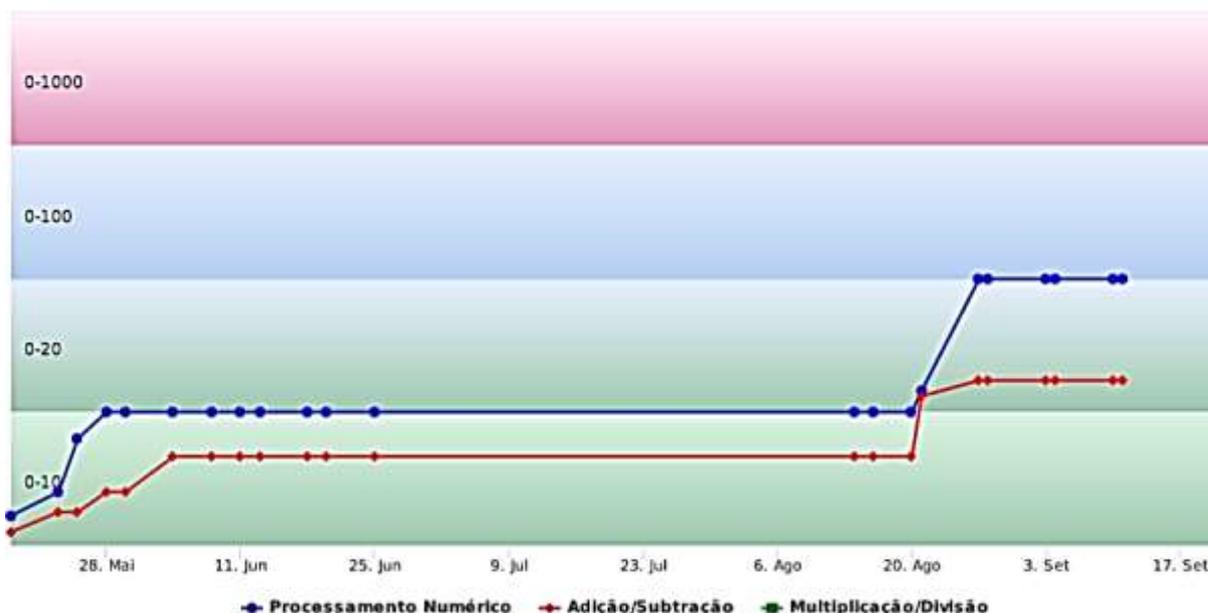


Fonte: Dybuster *Calcularis*, 2018.

O treinamento referente à evocação de fatos aritméticos deu-se de 04 de junho a 06 de setembro. O tempo de treino foi de 1 hora e 15 minutos. Foram propostas 156 atividades durante todo o período e o estudante obteve êxito em 50 exercícios, isso significa um rendimento total de 32%. O índice de acertos foi baixo em relação ao esperado e isso reforça a ideia de que a memória de longo prazo é severamente afetada na SW.

Mesmo com baixo rendimento nos exercícios de evocação de fatos aritméticos, a intervenção com o *Calcularis* melhorou significativamente as habilidades matemáticas nos três domínios da CogN e isso foi possível devido à individualização dos estímulos cognitivos, mas o tempo de intervenção não foi suficiente para alcançar outros níveis de rendimento e outras operações da matemática, como a multiplicação e a divisão. O gráfico 9 mostra um panorama geral da intervenção.

Gráfico 9: Rendimento geral do participante nas tarefas do *Dybuster Calcularis*



Fonte: Dybuster Calcularis, 2018.

O gráfico mostra que a partir do dia 28 de maio o participante apresentou desempenho esperado para as habilidades referentes ao *Senso Numérico* e ao *Processamento Numérico* na escala de 0 – 10 e que a partir do dia 28 de agosto alcança rendimento esperado para uma escala de 0 – 20. O mesmo resultado não ocorre para as operações de adição e de subtração, pois o participante alcança

rendimento esperado para essas operações somente a partir do dia 23 de agosto para escala de 0 – 10 e mantém esse rendimento.

O gráfico mostra que o participante não alcançou os níveis esperados para progredir para as operações de multiplicação e de divisão. Mesmo que o participante não tenha alcançado níveis mais elevados na intervenção, percebe-se que em pouco tempo de intervenção os resultados foram satisfatórios no sentido de mostrar melhoras no desempenho matemático em relação aos resultados do pré-teste.

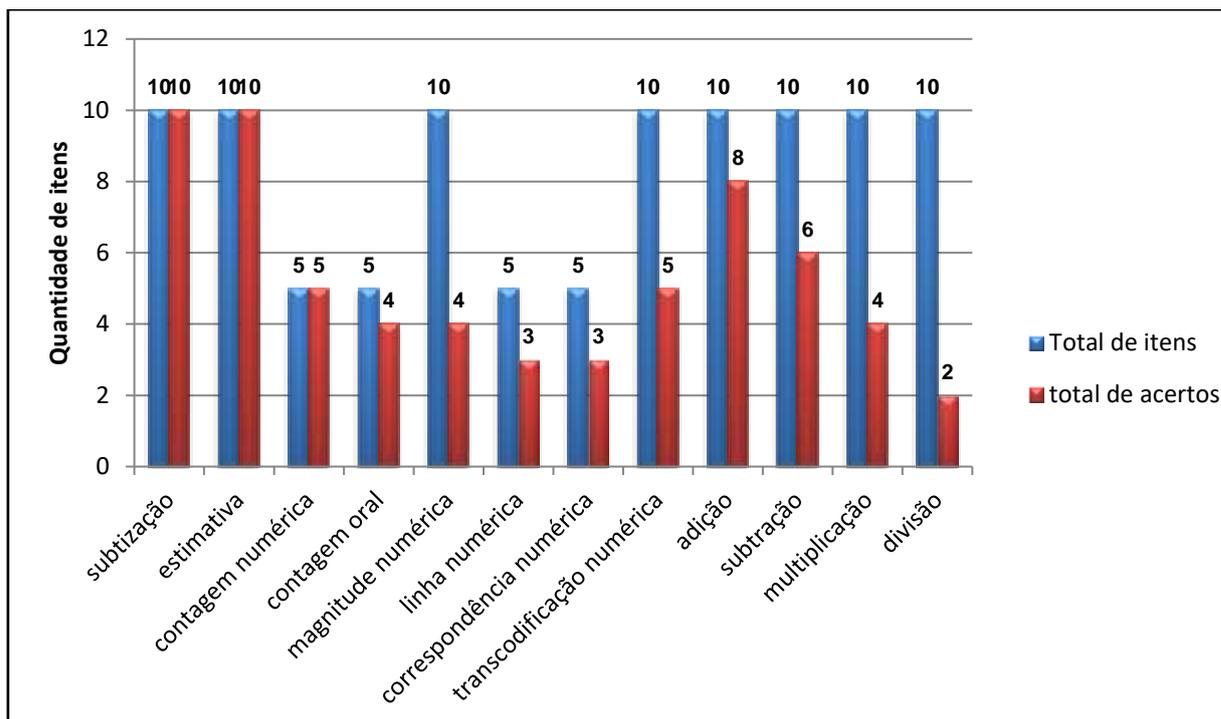
A intervenção também demonstrou que quando o aluno cometer erros em exercícios mais complexos é necessário redirecioná-lo aos exercícios mais fáceis na perspectiva de reduzir o número de erros, aumentar a velocidade de aprendizagem e melhorar seu desempenho em tarefas futuras.

Esses resultados quando observados a partir do contexto de sala de aula possibilita refletir sobre a importância de construir atividades didático-pedagógicas centradas em dificuldades específicas da CogN e reorganizar estruturalmente o currículo de matemática com base na evolução hierárquica dos domínios da CogN, na qual as habilidades quantitativas básicas formam a base para os processos matemáticos mais avançados, como o cálculo (GEARY, 2009).

Portanto, a presente pesquisa apoia a ideia de que o treinamento individualizado pode aprimorar o desempenho de alunos com SW em tarefas matemáticas, conforme pode-se ver nos resultados do pós-teste.

3.3 Resultados e discussões do pós-teste

Os resultados da intervenção mostraram melhoria no desempenho do aluno nos domínios da CogN e logo em seguida, após concluí-la, conforme o desenho metodológico, o estudante passou novamente pela avaliação do PROMAT. O pós-teste foi organizado nos mesmos termos do pré-teste. As informações mostraram um melhor desempenho do aluno em diversas habilidades da CogN, conforme o gráfico abaixo.

Gráfico 10: Rendimento do participante no Pós-Teste

Fonte: Teste PROMAT, 2018

Conforme o gráfico acima, pode-se afirmar que a intervenção neurocognitiva pode ser eficaz para o neurodesenvolvimento das habilidades matemática comprometidas pela discalculia. As doze horas de treinamento mostrou resultados significativos na recuperação de competências relacionadas à CogN.

O *Calcularis* ofereceu apoio ao desenvolvimento numérico e aprimorou as habilidades relacionadas à linha numérica, à correspondência numérica e à transcodificação numérica. As tarefas propostas durante o treinamento combinaram exercícios de *Senso Numérico*, *Processamento Numérico* e *Cálculo*. A estrutura do programa permitiu ao usuário uma adaptação apropriada ao seu desenvolvimento com base no nível das competências matemáticas do aluno investigado. Em síntese, os resultados corroboraram para a tese de que o Atendimento Educacional Individualizado pode compensar os prejuízos no neurodesenvolvimento da Cognição Numérica provocados pela SW.

A partir dos resultados da intervenção apresentados no gráfico, é possível afirmar que o aluno investigado melhorou significativamente seu desempenho em diversos domínios da CogN. Nas habilidades relacionadas à representação de numerais na linha numérica, à correspondência numérica e à transcodificação numérica, no pré-teste, o participante obteve rendimento de 10% e isso indicou

indícios de discalculia, mas após a intervenção o estudante obteve 50% de rendimento e em relação ao pré-teste apresentou um desempenho relevante.

Os resultados do pós-teste mostraram que nas habilidades que compõe a estrutura primária da CogN (senso numérico), segundo modelo adotado, o estudante obteve mais sucesso. Uma evidência é o fato de essas habilidades serem inatas (DEHAENE, 2011). Se for verificado o rendimento de acertos na subitização e na estimativa, das 20 tarefas propostas, todas foram realizadas corretamente. Desse modo, ao estabelecer uma relação entre os resultados do desempenho matemático do estudante antes e depois do treinamento percebe-se a existência de efeitos benéficos da intervenção.

Landau *et al* (2014) mostrou em um estudo que pessoas com SW apresentam dificuldades significativas em tarefas de comparar quantidades, isto é, disfunção na habilidade de precisão do sistema numérico aproximado (SNA). A presente pesquisa, em contraponto ao estudo de Landau *et al* (2014), apontou nos resultados do pós-teste benefícios do treinamento nos exercícios de estimativa da magnitude numérica não simbólica, ou seja, o estudante com SW conseguiu comparar, sem contar, a numerosidade de dois conjuntos de pontos.

Landau e Hoffman (2012), em uma pesquisa que tinha como objetivo investigar as habilidades matemáticas de pessoas com SW, mostraram um *déficit* significativo nos domínios da CogN responsáveis pelo processamento numérico. Uma das evidências estava relacionada ao SNA. Desse modo, em tarefas de comparação aproximada de números utilizando conjunto de pontos com menos de dez pontos por série, os participantes não mostraram um padrão comum de respostas mais rápidas a conjuntos que eram numericamente mais distantes do que conjuntos que eram numericamente mais próximos em quantidade.

Na avaliação realizada antes do treinamento das habilidades matemáticas, o participante também mostrou esse comportamento atípico do *Senso Numérico*. Contudo, após a intervenção *Calcularis* apresentou um rendimento de 100% nas tarefas de estimativa súbita da magnitude numérica e isso significa que ele conseguiu estimar a numerosidade por *subitização*.

Ainda sobre as habilidades matemáticas que compõe a estrutura primária da CogN comprometidas pela SW, pode-se citar o estudo de Rousselle, Dembour e Noël (2013). Os autores afirmam que se o processamento espaço-temporal é a base de construção das informações numéricas, uma disfunção dessa capacidade do

processamento espacial e/ou temporal pode comprometer o neurodesenvolvimento do processamento numérico e, conseqüentemente, do cálculo. Conforme o estudo, essa disfunção pode comprometer, caso a pessoa não seja submetida à intervenção, as estruturas secundárias da CogN, principalmente o processamento numérico, a compreensão numérica e a evocação de fatos aritméticos.

Considerando os resultados do estudo de Rousselle, Dembour e Noël (2013), é possível estabelecer uma relação com a presente pesquisa, pois antes da intervenção o aluno apresentou baixo rendimento nas habilidades de estimativa da magnitude simbólica e não simbólica e esse *déficit* é recorrente de disfunções neuroestruturais no córtex parietal e no sulco intraparietal (WILSON *et al*, 2006; LANDAU; HOFFMAN, 2012; ROUSSELLE, DEMBOUR, NOËL, 2013; LANDAU *et al*, 2014), isto é, áreas cerebrais prejudicadas pela SW. Para os autores, essas regiões cerebrais, a partir de resultados de exames de neuroimagem, foram apontadas como *locus* de ativações sobrepostas durante a realização de tarefas que envolveram o processamento numérico. As pessoas com SW, portanto, apresentam riscos de déficit de produção e compreensão numérica devido às anomalias estruturais e funcionais do córtex parietal.

Os mesmos autores afirmam que treinamento das habilidades matemática pode levar a uma modificação dos padrões de ativação cerebrais, particularmente em áreas frontais e parietais. Depois da intervenção *Calcularis*, ao ser submetido às tarefas de estimativa da magnitude não simbólica, o participante conseguiu estimar o resultado da adição de conjuntos de pontos sem ter que contá-los. Em 10 exercícios, ele obteve rendimento de 100%. Com base em Kucian *et al* (2011), pode-se inferir que o treinamento influenciou em mecanismos cognitivos de domínio geral, como atenção e memória operacional e em domínios específicos como das habilidades de estimativa e compreensão numérica. Para os autores, “espera-se que o treinamento exerça influência em ambos os processos, tanto reduzindo o recrutamento de áreas cerebrais de domínio geral quanto promovendo o aumento da ativação em áreas de domínio específico” (KUCIAN *et al*, p. 3), principalmente nas áreas cerebrais mais comprometidas pela discalculia.

Outra mudança em relação ao processamento numérico que merece destaque está relacionada ao processo de contagem, seja ela numérica ou oral. A contagem numérica consiste em enumerar pontos de um conjunto. A contagem oral refere-se a contar, sem apoio de pontos, em ordem crescente e decrescente, por

exemplo, contar de 0 a 50 ou contar de 65 a 45. O estudante investigado foi submetido a 10 exercícios de contagem e obteve rendimento de 90%.

Para Soltész, Szücs e Szücs (2010), o conhecimento da contagem numérica ou oral é inevitável para a abstração de grandezas numéricas. Contudo, o domínio do sistema de contagem oral, por exemplo, auxilia no processo de produção e compreensão numérica. Nesse sentido, o *Calcularis* direcionou jogos que pudessem melhorar o desempenho do estudante nessas habilidades, isso fica evidente no resultado apontado nos testes.

Quando o participante passou a dominar e a entender melhor o sistema de contagem numérica e de contagem oral se tornou capaz de usar o princípio da cardinalidade, isso foi perceptível nas tarefas de discriminar magnitudes numéricas independentemente de suas propriedades perceptivas, como o tamanho do algarismo. A figura abaixo ilustra um exemplo dessa habilidade.

Figura 31: Tarefa de Representação Simbólica da Magnitude



Fonte: Weinstein, 2016.

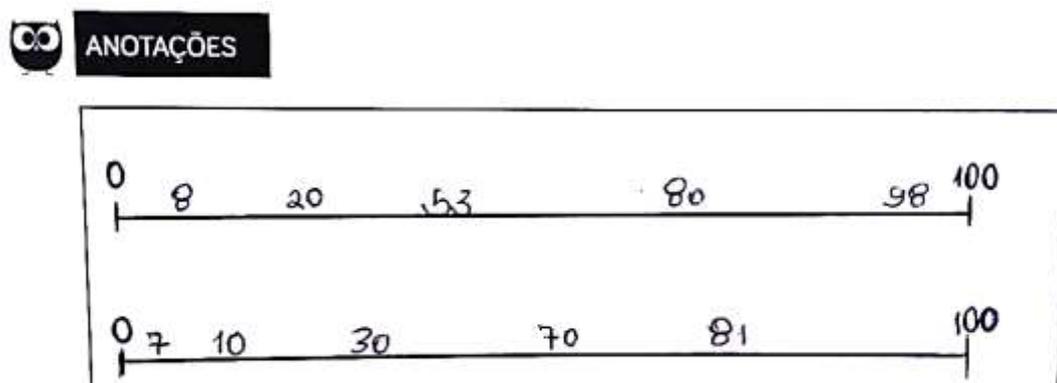
A tarefa consistia em estabelecer uma comparação do tamanho físico da fonte com a magnitude numérica do algarismo. Nesse caso, o participante tinha que apontar para o número que representasse a maior quantidade. Nos exercícios dessa natureza, o estudante obteve um rendimento de 60%.

A relação entre discriminação de números e conhecimento de contagem oral tende a desaparecer quando a pessoa consolida as habilidades de contagem (SOLTÉSZ; SZÜCS; SZÜCS, 2010). Isso ficou evidente nos resultados do pós-teste, pois o participante passou a contar em termos numéricos e orais independentemente das propriedades físicas dos algarismos e do tamanho, mas enquanto não tinha adquirido esse conhecimento conceitual não compreendia a natureza abstrata dos números e confiava nas características perceptivas analógicas durante a realização das tarefas de comparação numérica.

Nesse contexto, o *Calcularis* redirecionou os exercícios para jogos de contagem, pois se partiu do pressuposto de que a ação de contar é particularmente importante para o domínio do cálculo. Essa relação entre contagem e cálculo é evidenciada em um estudo de Le Corre e Carey (2014) que apontou que a aquisição dos princípios de contagem verbal não é orientada por princípios de contagem inatos e não verbais, mas é um processo de contagem conceitual e procedimental. Para os autores, a contagem procedimental é recorrente de uma sequência oral com ou sem apoio de objetos, ou seja, os princípios de contagem representam uma ideia sucessora do tipo “n” e “n+1”. A contagem conceitual procede da compreensão da organização do sistema numérico posicional.

Os procedimentos de contagem implicam diretamente na compreensão da linha numérica e antes da intervenção o estudante apresentou um rendimento de 0% nas tarefas de linha numérica. Isso tornou evidente os prejuízos causados pela disfunção da CogN nas pessoas com SW, mas durante o treinamento, gradualmente, o estudante foi demonstrando avanços significativos nessa habilidade. A figura seguinte ilustra o resultado de duas tarefas.

Figura 32: Resultados da tarefa de Linha Numérica



Fonte: Weinstein, 2016.

Os resultados do pós-teste mostraram que o participante conseguiu, mesmo que com algumas desproporcionalidades, inserir os algarismos na reta numérica sem estar graduada. Para corroborar com o resultado da pesquisa, pode-se citar um estudo desenvolvido por Geary (2013) que apontou o fato de crianças com discalculia terem melhorado, em 1 ano de intervenção, seu desempenho em tarefas de linha numérica. Isso mostra a importância de realizar procedimentos de intervenção a longo prazo.

Os jogos do *Calcularis* buscaram explorar diferentes pontos de referência. Inicialmente, uma escala de 0 a 10, em seguida, de 0 a 20 e assim por diante. Com isso, pode-se inferir que as mudanças de desenvolvimento no padrão de estimativa na linha numérica estão associadas ao uso crescente de pontos de referência. O desempenho positivo nos exercícios de linha numérica implicou diretamente na compreensão do valor posicional.

Corroborando com os resultados, um estudo longitudinal de 5 anos desenvolvido por Geary (2011), identificou que o trabalho direcionado para habilidades de processamento e manipulação de números, contagem numérica e oral para resolver problemas de adição e tarefas de inserir algarismos em uma reta numérica, são habilidades essenciais para o sucesso da alfabetização matemática. No caso dos estudantes com discalculia, o autor sugeriu programas de orientações pedagógicas individualizadas.

Dessa forma, estudos longitudinais corroboram para o desenvolvimento de estratégias eficazes para melhorar, sobretudo, o desempenho matemático de alunos com discalculia. Os resultados do pós-teste mostram a importância de um trabalho de intervenção individualizado e em longo prazo.

Outra habilidade matemática que apresentou melhores rendimentos refere-se à identificação do valor posicional de um algarismo com base no sistema de numeração decimal (SND). Assim como realizado nessa pesquisa, Moeller *et al* (2012) avaliaram por meio de tarefas de identificação do valor posicional, a composição e a decomposição de números em unidades, dezenas, centenas e milhares. Para os pesquisadores, a compreensão do valor posicional é preditiva do desempenho em tarefas de adição, por exemplo. No entanto, a transcodificação do número falado para o número escrito não se dá de maneira direta, pois isso requer o entendimento de como funciona o SND e o sistema de numeração posicional (SNP).

Durante o pós-teste, o participante respondeu a 10 tarefas relacionadas ao SNP, das quais ele obteve rendimento de 50%. Antes do treinamento, tinha apresentado um baixo rendimento no pré-teste, pois tinha apresentado um rendimento de 10%. A falta desse entendimento do valor posicional limitava a aprendizagem matemática, mas os resultados do pós-teste mostraram os benefícios do *Calcularis* para esse domínio da CogN.

Conforme Moeller *et al* (2012), para números de dois dígitos, por exemplo, o algarismo da dezena e da unidade são processados individualmente. Mais tarde,

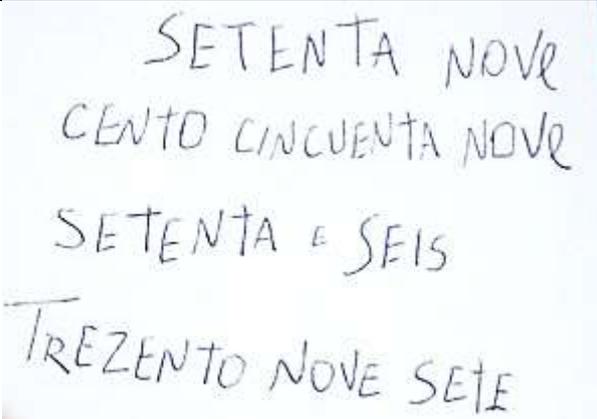
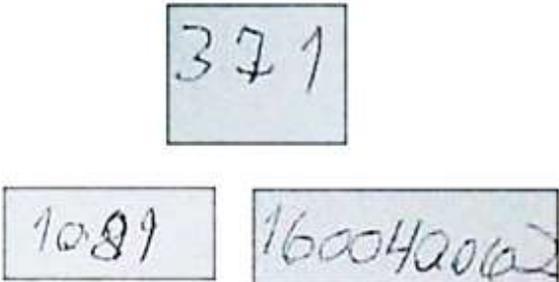
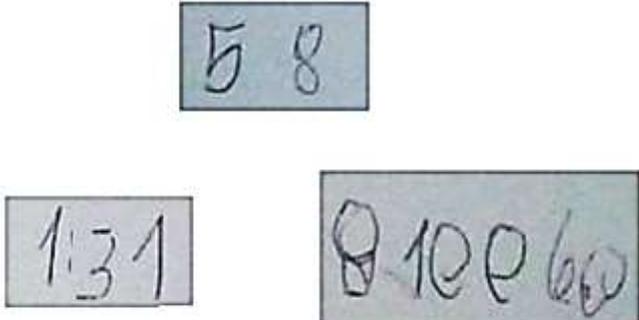
como o neurodesenvolvimento das habilidades da compreensão numérica, a informação é consolidada de maneira sincronizada e a magnitude total do número construída. Isso nos permite afirmar, com base nos registros do pré-teste, que as informações numéricas de valores com mais de um dígito são processadas de forma decomposta. Da mesma forma, o SNP está implícito em números falados, por exemplo, “trinta e cinco” (30 e 5).

A forma como o cérebro recebe a informação numérica, de maneira decomposta, pode implicar na escrita escalonada, ou seja, ao ouvir o professor falar “quarenta e cinco” o estudante pode registrar 405, ao invés de 45. Para isso, o aluno precisa compreender que os algarismos também exercem um valor de acordo com a posição (unidade, dezena, centena, milhar etc.) que assume na escrita do número.

A aprendizagem do valor posicional e do valor decimal implica diretamente na habilidade de transcodificação numérica, ou seja, ler e escrever números. Para Haase *et al* (2014), o domínio da leitura e da escrita de números em suas formas arábica ou verbal é uma habilidade essencial para lidar com situações diárias. Dessa forma, ser capaz de manipular números e convertê-los de um formato para outro é um dos primeiros passos na aprendizagem matemática e isso precisa ser explorado desde os anos iniciais de escolarização.

O quadro 6 mostra as tarefas de transcodificação numérica e os registros do aluno.

Quadro 6: Tarefas de transcodificação numérica

Tarefas	Resposta do aluno
<p>Tarefa 1: representar algarismos arábicos em numerais escritos. 79</p> <p>Tarefa 2: representar algarismos arábicos em numerais escritos. 159</p> <p>Tarefa 3: representar algarismos arábicos em numerais escritos. 706</p> <p>Tarefa 4: representar algarismos arábicos em numerais escritos. 3076</p> <p>Instrução: leia o algarismo e escreva-o em forma de numeral (palavra).</p>	
<p>Tarefa 5: representar o numeral falado em algarismo arábico. 371</p> <p>Tarefa 6: representar o numeral falado em algarismo arábico. 1089</p> <p>Tarefa 7: representar o numeral falado em algarismo arábico. 16462</p>	
<p>Tarefa 8: representar o numeral (palavra escrita) em algarismo arábico. CINQUENTA E OITO</p> <p>Tarefa 9: representar o numeral (palavra escrita) em algarismo arábico. CENTO E TRINTA E UM</p> <p>Tarefa 10: representar o numeral (palavra escrita) em algarismo arábico. OITOCENTOS E SESENTA</p>	

Fonte: Ficha de Respostas do Aluno

Conforme as tarefas exibidas no quadro acima, a transcodificação numérica consiste na capacidade de estabelecer uma relação entre as representações verbal e arábica dos números, ou seja, uma conversão de símbolos numéricos de uma notação para outra.

A transcodificação numérica é uma das habilidades comprometidas por causa da discalculia. Nas respostas dadas pelo estudante percebe-se que da mesma forma como foi falado o número ele o escreveu, em alguns casos, de forma escalonada. Para Dehaene (2011), a invenção das notações numéricas escritas

ocorreu, simultaneamente, com o desenvolvimento do sistema de numeração oral. Segundo o autor, na China a construção da escrita numérica dava-se por meio do princípio multiplicativo. Por exemplo, o número 3.456 era simplesmente escrito da seguinte forma, a saber: 3.1000 4.100 5.10 6. Percebe-se que ocorria uma transcrição literal do número falado para o número escrito.

Essa forma de registrar os números deu-se quando na tarefa 7 (veja o quadro 3) o estudante escreveu 1600 400 62 para o numeral falado “16462”. O registro numérico desenvolve-se quando é estabelecido um sistema numérico posicional. No entanto, mesmo com o treinamento, o participante continuou com a escrita escalonada dos numerais. Pode-se inferir que esse erro foi mantido devido o aluno não alcançar outros níveis do *Calcularis*, pois a escala numérica encerrou nos números de segunda ordem (casa das dezenas) e isso implica na necessidade de dar continuidade à intervenção.

Nas tarefas de representar números falados em algarismos arábicos o participante ainda permaneceu cometendo erros, sobretudo, nos números de quarta ordem ou casa dos milhares. Sobre isso, podemos inferir que mesmo o sistema numérico arábico sendo bastante prático, a SW compromete os aspectos sintáticos e fonéticos do sistema numérico verbal. Para Brauwer *et al* (2014), o sistema numérico verbal, em contraste ao arábico, é muito mais complexo, pois depende de um léxico limitado, organizado em diferentes classes lexicais, como unidades (“um” a “nove”), dezenas (“dez” a “noventa”), centenas, milhares etc.

Além desse léxico limitado, existem irregularidades na escrita e na oralidade dos números, por exemplo, “onze” e “doze”. Outro detalhe é o fato de algumas quantidades poderem ser designadas por uma única palavra, como na tarefa 8 em que era preciso representar o numeral escrito em palavras (dezoito) em algarismo arábico. Mas na maioria dos casos, a sintaxe dos números escritos segue uma sequência de palavras, como no caso da palavra *oitocentos e sessenta* que segue regras aditivas e multiplicativas ($8 \times 100 + 6 \times 10 = 860$), e isso pode levar a erros.

Brauwer e colaboradores (2014) afirmam que as pesquisas em Neurociência Cognitiva sobre a transcodificação numérica são escassas, apesar de existem alguns modelos teóricos que buscam explicar o neurodesenvolvimento dessa habilidade, por exemplo, o *Modelo Semântico*. Nessa perspectiva, ao ler ou ouvir a palavra numérica o cérebro interpreta primeiramente a representação da magnitude

semântica, e depois a transforma em dígitos arábicos. Assim, quanto maior for o número, mais difícil é sua transcodificação.

Outro modelo de transcodificação numérica, chamado de *Modelo Assemântico*, consiste em uma representação mental do léxico por meio de regras de produção numérica. Cada unidade representacional é combinada na construção do número e cada parte da palavra escrita ou oralizada é enviada para a memória de trabalho que armazena e processa a informação para que ocorra a transcodificação numérica, independentemente de representação da magnitude numérica. Semelhante ao modelo semântico, a transcodificação fica mais difícil à medida que a frequência de dígitos aumenta.

Para Haase *et al* (2014), o *Modelo Assemântico* ou ADAPT (*A Developmental Asemantic and Processual model for Transcoding*) explica o desenvolvimento de processos de transcodificação por meio da prática. Isso implica afirmar que a experiência de leitura e de escrita de números leva à expansão do léxico numérico e à melhoria das regras de conversão. Esse segundo modelo fundamenta os exercícios do *Calcularis*, pois quanto mais o estudante realizava os treinamentos, maior era seu vocabulário numérico.

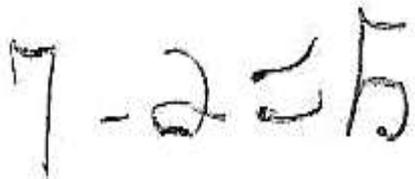
O modelo ADAPT explica o fato das representações fonológicas expressas pelo estudante nas respostas da avaliação do PROMAT. A SW também causa a dislexia e essa comorbidade da lectoescrita, quando combinada com a discalculia, implica negativamente nas representações lexicais e no desenvolvimento atípico das habilidades matemáticas (HAASE *et al*, 2014). Segundo os autores, o ADAPT enfatiza explicitamente a importância da codificação fonológica nas primeiras fases da produção e compreensão numérica, apesar dos pesquisadores não terem investigado, de forma profunda, essa relação entre a aprendizagem da lectoescrita e da aprendizagem da matemática.

O resultado do pós-teste possibilita inferir que existe uma forte relação entre dislexia e discalculia e, portanto, a consciência fonêmica está relacionada ao desempenho das habilidades do processamento numérico, especificamente, produção numérica e compreensão numérica.

O rendimento no pós-teste em relação ao Senso Numérico e ao Processamento Numérico, em comparação ao pré-teste, demonstrou que o participante apresentou avanços nas habilidades matemáticas. A melhoria nesses domínios da CogN implica positivamente na aprendizagem do cálculo.

Em relação à adição e à subtração, o participante melhorou seu desempenho. O rendimento na adição evoluiu de 20% para 80%, um crescimento significativo para um sujeito com SW. Os efeitos benéficos do treinamento persistiram para a subtração, pois no pré-teste o rendimento era de 10% e progrediu depois da intervenção para 60%. Esses desempenhos mantiveram-se instáveis até o final do treinamento.

Quadro 7: Desempenho do participante na aprendizagem de cálculo

Tarefas	Resposta do aluno
<p>Tarefa 1: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é três mais dois?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 2: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é cinco mais seis?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 3: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é dez menos seis?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	
<p>Tarefa 4: solucionar o cálculo apresentado oralmente.</p> <p><i>Quanto é sete menos cinco?</i></p> <p>Instrução: para solucionar o participante pode usar o tempo que quiser, sem precisar explicar seu raciocínio. Pode usar lápis e papel ou cálculo mental.</p>	

Fonte: Teste PROMAT, 2018.

A intervenção *Dybuster Calcularis*, portanto, ajudou no estímulo da compreensão numérica, no acesso automatizado da linha numérica e no cálculo. Além disso, melhorou a associação entre problemas e fatos aritméticos, o entendimento da ordinalidade dos números e na habilidade de estimativa. Sobre o uso de intervenção individualizada para casos de discalculia, Luculano *et al* (2015, p. 130) afirmam que “em geral, os participantes demonstram grandes melhorias em

cognição numérica após treinamento”. Em relação ao participante da presente pesquisa, os resultados do pré-teste em relação ao resultado do pós-teste indicaram a existência de efeitos benéficos do treinamento em diversas competências matemáticas.

O participante conseguiu resolver problemas de adição sem reserva com base no 10 e adição com reserva com base no 20 e resolver tarefas de subtração sem recurso com base no 10 no pós-teste com maior velocidade que no pré-teste. Por outro lado, mesmo não obtido muito êxito nos exercícios de multiplicação e de divisão, o participante exibiu melhoria nessas operações em relação ao resultado do pré-teste (0%). No pós-teste de multiplicação e de divisão, obteve rendimento, respectivamente, de 40% e 20%. Isso indica uma possibilidade real de melhorias nessas habilidades, ainda que esse progresso não tenha alcançado resultados mais significativos.

O participante relatou ter gostado de treinar com o programa e isso demonstrou que a intervenção computadorizada é um meio atraente para os alunos. Relatou ainda que a intervenção por meio dos jogos do *Dybuster Calcularis* produziu melhorias no seu desempenho matemático. Durante o relato, percebeu-se que os sentimentos subjacentes à melhoria e o sucesso na aprendizagem matemática aumentaram a motivação e a ideia de que é possível aprender, mas que para isso faz-se necessário erguer uma ponte entre a Saúde (Neurociência Cognitiva) e a Educação (Educação Matemática).

CAPÍTULO 4

UMA PONTE ENTRE NEUROCIÊNCIAS E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

[...] O maior desafio a enfrentar é o de traduzir os conceitos e evidências das pesquisas em neurociências em práticas educacionais. Trata-se de uma tarefa que está apenas começando na neurociência em particular, e no conjunto da ciência em geral.

Roberto Lent, 2018.

Conforme afirmou Lent (2018), o maior desafio, sobretudo deste estudo, é traduzir os resultados das pesquisas em Neurociência Cognitiva para a Educação Matemática. Ou melhor, transformar as evidências científicas em suporte para a prática pedagógica de quem ensina Matemática na Educação Básica para estudantes com síndrome de Williams-Beuren.

Este capítulo tem como objetivo refletir sobre as possibilidades de estabelecer uma “ponte” entre os resultados de pesquisas em neurociências e as problemáticas no campo da educação, especificamente no processo de ensino e aprendizagem da matemática escolar. Além disso, discutir sobre a Atendimento Educacional Individualizado (AEI) para alunos com Síndrome de Williams ou com outras comorbidades associadas à discalculia.

4.1 Educação Matemática Baseada em Evidências Neurocientíficas

A presente pesquisa possibilitou refletir sobre a importância de haver mais investimentos em pesquisas que articulem saúde e educação. Pode-se tomar como exemplo disso o investimento feito em pesquisas após a 2ª Guerra Mundial, pois países da Europa e os Estados Unidos da América (E.U.A) perceberam o quão tinha sido importante a contribuição dos cientistas para derrotar os nazistas e uma referência disso foi a criação dos radares. Os cientistas criaram um dispositivo que pudesse, por meio de ondas eletromagnéticas, detectar objetos em longa distância, inferir seu posicionamento e torná-los em alvos fáceis. Essa tecnologia pode ser considerada como a gênese da *internet*.

Outra contribuição das pesquisas científicas às atividades bélicas está vinculada à criação da bomba atômica de Urânio. O envolvimento, principalmente de físicos britânicos e canadenses liderados por Albert Einstein, deu origem à bomba atômica que consolidou o final da guerra. Esses cientistas descobriram que o urânio poderia ser transformado em uma potente fonte de energia por meio de um processo de fissão nuclear.

Esses eventos científicos deram origem à construção de uma política pública científica pós-guerra implantadas nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, ou seja, as maiores potências mundiais começaram organizar e estruturar nas universidades e institutos tecnológicos a concepção de pesquisa científica translacional, isto é, uma maior aplicação das pesquisas de base. Esse investimento deu origem à Fundação Nacional de Ciência e ao Instituto Nacional de Saúde nos

E.U.A com o intuito de combater, sobretudo, doenças que matavam mais que as guerras.

Esses adventos científicos também influenciaram políticas públicas de investimento à pesquisa aqui no Brasil, mesmo sendo um país com pouca tradição científica e condições socioeconômicas pouco satisfatórias. A criação logo após o fim da 2ª Guerra Mundial do *Conselho Nacional de Pesquisas* (CNPq) e da *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior* (CAPES) são exemplos de tentativa de fomento à pesquisa, apesar de atualmente estarem ameaçados pela política de governo.

Diante desse contexto, é inegável considerar que no mundo, inclusive no Brasil, houve melhorias socioeconômicas oriundas de investimentos em pesquisas científicas e pode-se citar como exemplo a diminuição da mortalidade infantil, o desenvolvimento de tecnologias para diagnóstico do câncer e outras doenças terminais, o controle de doenças infectocontagiosas de alta morbidade, criação de novos fármacos e, conseqüentemente, um significativo aumento da expectativa de vida da população mundial. Por outro lado, os avanços nas pesquisas translacionais não chegaram, de modo estruturado, aos sistemas educacionais do mundo todo.

O Brasil, por exemplo, não recebeu a mesma atenção na educação, pois as pesquisas em Neurociência Cognitiva apontam habilidades matemáticas e linguísticas que precisam ser trabalhadas desde a Educação Infantil para potencializar o processo de alfabetização dos estudantes, no entanto dados do Inep de 2018 apontam que ainda há no país cerca de 16 milhões de analfabetos.

A presente pesquisa, durante a revisão da literatura, possibilitou perceber que os estudos em neurociências avançaram bastante sobre a compreensão do funcionamento do cérebro humano em relação a aprendizagem matemática, seja a nível molecular, celular, multicelular ou multicerebral. Mesmo com todo esse conhecimento sobre o processo de aprendizagem, pouco se tem aplicado às políticas públicas educacionais.

Um exemplo de que as mudanças ocorridas no sistema educacional brasileiro não levam em consideração as pesquisas na área da saúde ou das neurociências para fundamentar tais modificações está no fato de na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) esperar que uma criança de 7 anos de idade, cursando o 2º ano do Ensino Fundamental, consiga comparar números de até três ordens (unidade, dezena e centena) pela compreensão de características do sistema de numeração

decimal e compreender o valor posicional e papel do zero. Essas são habilidades que, normalmente, são consolidadas aos 8 ou 9 anos de idade (3º ano ou 4º ano do Ensino Fundamental).

Esse exemplo ilustra uma “corrida na contramão” da aprendizagem matemática, pois enquanto os estudos da Neurociência Cognitiva apontam que as habilidades relacionadas ao *Processamento Numérico*, como a representação numérica da magnitude do algarismo e a identificação do valor posicional no sistema de numeração decimal, são consolidadas somente ao final do 4º ano do Ensino Fundamental, o currículo aponta para o final do 2º ano de escolarização. Isso mostra que os programas educacionais, sobretudo relacionados ao currículo e à formação continuada de professores, são baseados, necessariamente, em teorias ou hipóteses, mas pouco fundamentado em evidências de pesquisas em neurociências.

Muito já se descobriu sobre os mecanismos cerebrais envolvidos no processo de aprendizagem, mas pouco do que se foi estudado tem sido direcionado às escolas. Por exemplo, a nível multicerebral, as pesquisas em neurociências têm mostrado a importância da interação entre os alunos nos momentos de aprendizagem, no entanto percebe-se a organização da sala de aula em cadeiras enfileiradas. Isso nos mostra que as escolas brasileiras ainda seguem o mesmo modelo de organização desde sua criação no século XIX. O mesmo não ocorre com as salas de cirurgia, ou seja, enquanto a saúde acompanha o desenvolvimento e as mudanças da sociedade, a educação, em muitos casos, continua estagnada em práticas de séculos passados.

O avanço da ciência manifesta-se também nas tecnologias de informação e comunicação (TIC's), pois atualmente é possível carregar nas mãos uma grande quantidade de dados, mas parece que o governo brasileiro não tem considerado a importância das TIC's no processo de ensino e aprendizagem. A presente pesquisa mostrou o potencial das tecnologias digitais, pois a intervenção *Calcularis* possibilitou o planejamento de atividades didático-pedagógicas individualizadas que pudessem, de acordo com o desenvolvimento neurocognitivo do aluno, auxiliar no desempenho matemático de um estudante com discalculia.

Nesse contexto, percebe-se que a educação brasileira está estruturada da seguinte maneira: uma escola com práticas do século XIX; uma proposta currículo do século XX e alunos do século XXI. Isso se dá porque os modelos de escola ainda seguem, em termos gerais, os mesmos implantados em 1827 (século XIX) durante o

primeiro reinado, quando foram criadas as primeiras escolas primárias de Ensino Elementar (atual Ensino Fundamental). O atual currículo segue as mesmas diretrizes dos Parâmetros Curriculares Nacionais criados em 1997 (século XX) com o objetivo de oferecer uma formação para a cidadania e para a democracia e orientar a construção de um currículo nacional comum. E por fim, temos alunos que nasceram na era das TIC's e da *internet*, ou seja, crianças conectadas tecnologicamente e que não conseguem despertar motivação a partir de aulas meramente expositivas e, muitas vezes, enfadonhas.

Essa dissonância entre escola-currículo-aluno resulta em baixos índices de desempenho escolar e em desinteresse em aprender. No entanto, essa problemática segue a premissa de “*esperar para ver*”. Lent; Mota e Buchweitz (2018) discutem que “não houve, como na Saúde, políticas estruturantes de fomento à Ciência, inspiradas pela Educação”. Isso mostra uma realidade de que se tem tentado, e conseguido, resolver muitas problemáticas da saúde, mas pouco se tem investido nos problemas crônicos da educação.

A educação necessita urgentemente de políticas educacionais baseadas em evidências científicas, como ocorre nas políticas públicas na área da saúde. Nosso país encontra-se, atualmente, como um dos últimos colocados no *ranking* das avaliações externas em larga escala. Segundo dados do Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (Inep⁶), na última edição do PISA (Programa Internacional de Avaliação de Alunos) em 2016, o Brasil encontrava-se na posição 63^o entre os 70 países avaliados. Essa avaliação busca verificar o desempenho escolar de alunos de 15 anos por meio de provas de leitura, matemática e ciências. Essa é uma realidade que poderia mudar caso as políticas educacionais do Brasil levassem em consideração as pesquisas em neurociências. A Finlândia é um exemplo de que a educação pode avançar a partir de evidências científicas sobre o processo de ensino e aprendizagem.

O primeiro colocado no *ranking* do PISA é a Finlândia. Esse país, em 2016, reformulou seu currículo nacional e um dos aspectos inerentes às políticas educacionais são os resultados de pesquisas aplicados à Educação. Além disso, a formação do professor é essencial para a qualidade da educação da Finlândia, pois nesse país ter graduação não é suficiente, os professores precisam ter mestrado na

⁶Para mais informações sobre o PISA, acessar o site: <http://portal.inep.gov.br>

área de educação. Investir na formação e na valorização docente são fatores essenciais para a melhoria da educação dos alunos.

Investir na carreira docente é uma possibilidade de relacionar resultados de pesquisas aos problemas enfrentados na educação. Por exemplo, o Brasil tem bem mais pesquisas acadêmicas do que a Finlândia, mas pouco são utilizadas em sala de aula. O que falta é investir mais na formação docente, pois muitos professores não conseguem utilizar os resultados dessas pesquisas como ferramentas na sala de aula, com seus alunos, com suas turmas. Segundo o diretor de operações da *Finland University* Jarkko Wickstrom (2019), a Finlândia, desde 1969, estabeleceu que a formação mínima para exercer a carreira de magistério seria o mestrado. O especialista justifica que isso se deu devido o curso de mestrado possibilitar a formação do professor pesquisador e reflexivo sobre sua própria prática, aspecto que na graduação não é explorado.

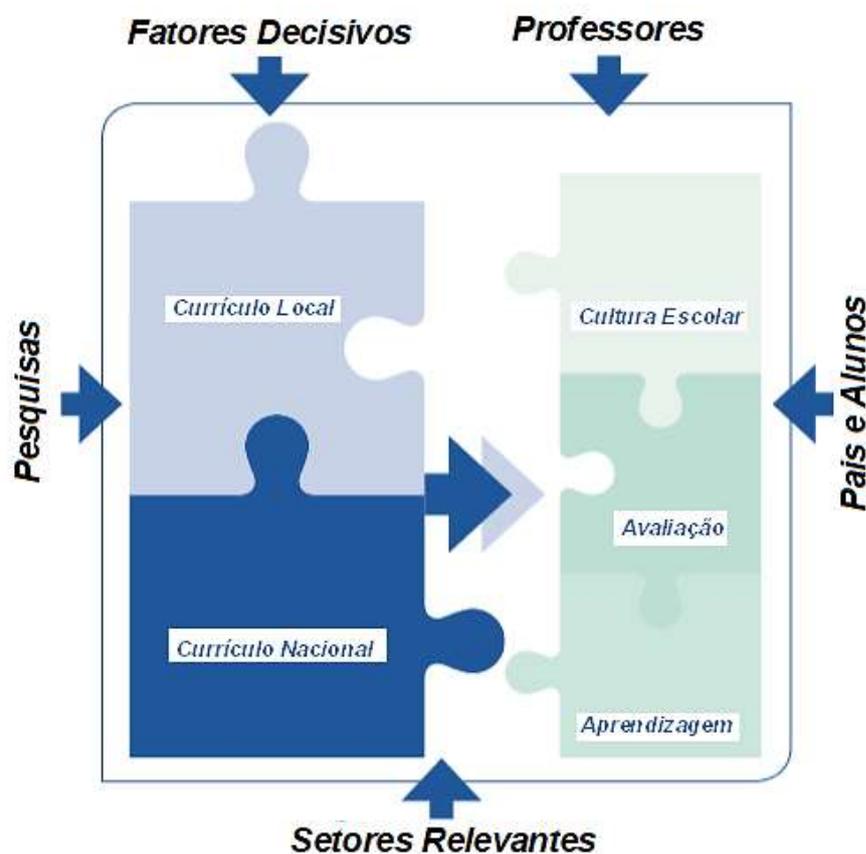
No Brasil, esse poderia ser um modelo a ser seguido, pois apesar de existir diversos programas de mestrado profissional, o número de vagas é insuficiente para atender a demanda de profissionais. Oportunizar a formação docente em nível *stricto sensu* é uma possibilidade de aproximar as pesquisas científicas aos problemas enfrentados na prática pedagógica, porque o professor enquanto pesquisador pode investigar seu próprio trabalho e se questionar: *as metodologias que utilizo nas minhas aulas trazem resultados positivos para a aprendizagem de meus alunos?* Esses e outros questionamentos podem surgir com a formação para a pesquisa.

A formação do professor é uma forte ponte para ligar as neurociências à Educação Matemática, pois a educação é um processo multideterminado. O que o professor faz em sala de aula é uma espécie de intervenção que busca modificar comportamentos e estruturas neurocognitivas nos alunos. Portanto, as neurociências têm muito a contribuir com o processo de ensino e aprendizagem.

Outro aspecto relevante sobre a educação na Finlândia está relacionado ao uso de TIC's nas aulas. As ferramentas tecnológicas, que vão além de colocar computadores nas salas de aula, auxiliam na aprendizagem dos estudantes. Muitos jogos educacionais são inseridos nos planos de aula, pois a proposta é que a aprendizagem seja algo prazeroso.

A presente pesquisa destaca a educação da Finlândia porque no Brasil as últimas reformas curriculares, como a implementação da BNCC, seguiram o modelo de currículo desse país, conforme ilustrado na figura 33.

Figura 33: Organização Curricular da Finlândia



Fonte: Wickstrom, 2019.

O currículo finlandês é estruturado de uma parte comum e uma parte diversificada. Aspectos relacionados à cultura escolar, à aprendizagem e à avaliação são organizados a partir da participação efetiva dos professores. Nesse contexto, os professores não são meros executores de ideias, eles participam ativamente da construção do currículo, assim como a comunidade escolar e os setores da sociedade civil organizada. Dentre esses aspectos, merece destaque a influência das pesquisas translacionais na definição do currículo. Portanto, as evidências científicas são determinantes na estruturação e formalização dos processos de aprendizagem, de avaliação e de seleção de conteúdos.

As evidências científicas podem auxiliar em uma organização didático-pedagógica alinhada com a maneira natural de o cérebro aprender, mas para isso o professor precisa compreender a relação existente entre o cérebro e a

aprendizagem. Entender, por exemplo, os efeitos fisiológicos, os estímulos sensoriais e os aspectos emocionais relacionados à aprendizagem.

Nesse contexto, a presente pesquisa ressalta a importância de as práticas de sala de aula serem fundamentadas, principalmente, em evidências científicas, o que não pode ocorrer são as teorias da aprendizagem de base empírica contraporem-se ao potencial dos estudos neurocientíficos. Por exemplo, não se pode compreender, sem questionar, que a exposição de crianças à material audiovisual possibilita a consolidação de memória aritmética de longo prazo. Isso é uma maneira de negligenciar as evidências neurocientíficas sobre a aprendizagem e sua relação com a memória. Para Stern (2005) fica claro que a ausência de uma relação entre as neurociências e a educação implicam na crença, por parte de muitos professores, de que memorizar fatos isolados no início da vida escolar pode melhorar a retenção de memória de longo prazo.

Por outro lado, a neurociência não pode tornar-se uma panaceia para os problemas educacionais, da mesma forma que as pesquisas empíricas do campo das ciências educacionais não podem ser ignoradas. Por isso, a importância de estabelecer uma ponte entre a neurociência e a educação. As pesquisas translacionais em neurociências podem contribuir para processos de intervenção nos casos de alunos com discalculia ou com dificuldade de aprendizagem em matemática, pois olhar para o funcionamento do cérebro durante a solução de um problema matemático pode ajudar a esclarecer o que impede a aprendizagem.

Para Stern (2015) as técnicas de neuroimagem elucidam as áreas do cérebro envolvidas, por exemplo, no funcionamento dos mecanismos neurais do desenvolvimento das habilidades relacionadas à CogN. As evidências neurocientíficas também podem mostrar como experiências anteriores possibilitam melhorar o aprendizado e ir além de explicações psicológicas ou comportamentais.

A neurociência ajuda a compreender que atividades cognitivas processadas em áreas cerebrais semelhantes podem ser aprimoradas com intervenção individualizada, mesmo que essas atividades da CogN envolvam estruturas de conhecimento completamente diferentes. Assim, no caso dos alunos com discalculia, uma habilidade matemática processada especificamente em uma região cerebral pode ser compensada em uma região semelhante, por exemplo, no caso dos estudantes com SW que não conseguem guardar fatos aritméticos por longo prazo podem recorrer ao processo de contagem.

No entanto, a neurociência não consegue suprir todas as necessidades educacionais, mas pode fornecer informações sobre as habilidades e restrições cerebrais da aprendizagem matemática e assim como também pode ajudar na organização de ambientes propícios à aprendizagem, principalmente tratando de alunos com discalculia.

4.2 Designer de Atendimento Educacional Individualizado

A presente pesquisa defende a tese de que é possível organizar um *Designer de Atendimento Educacional Individualizado* (DAEI) para estudantes com Síndrome de Williams-Beuren na perspectiva de compensar seu desempenho matemático e, conseqüentemente, melhorar, em longo prazo, o neurodesenvolvimento da Cognição Numérica.

Nesse *Designer*, as evidências oriundas das pesquisas em neurociências são consideradas na perspectiva de que podem auxiliar no processo de aprendizagem do aluno com SW, seja em sala de aula regular ou no Atendimento Educacional Individualizado. A fundamentação do DAEI está pautada em uma aprendizagem baseada no funcionamento cerebral, ou seja, baseada em como a neurociência pode prover estratégias para a organização do ensino de Matemática.

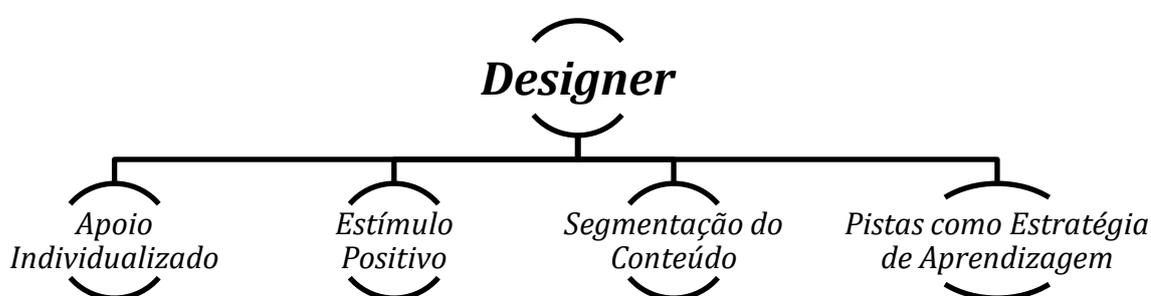
Antes de organizar o atendimento individualizado, algumas situações precisam ser consideradas, por exemplo, realizar uma reunião entre professores e pais/responsáveis de aluno para que compartilhem suas percepções sobre as necessidades educacionais especiais do aluno e indicar suas potencialidades. Nessa ocasião, é oportuno realizar uma entrevista de anamnese para que sejam identificadas possíveis causas da discalculia, conflitos e compartilhamento de responsabilidades. Essa reunião é necessária após identificar, inicialmente, algum transtorno específico da aprendizagem matemática, mesmo que ainda não disponha de um diagnóstico clínico.

O *Designer* é uma ferramenta que busca garantir o exercício do direito que os alunos com SW têm em receber um atendimento educacional especializado (AEE) com direcionamento para os prejuízos causados pela discalculia e outras comorbidades, como a dislexia. É um dispositivo de acompanhamento e de avaliação do progresso do estudante nas aulas de Matemática, no entanto pode ser estendido para as outras áreas do conhecimento. O DAEI não se trata de um modelo de organização didático-pedagógico engessado, pois sempre que

necessário suas atividades podem sofrer modificações no atendimento de um estudante.

O acompanhamento e as modificações necessárias são essenciais para o sucesso da aprendizagem, mesmo assim isso não garante a ausência de problemas no decorrer do desenvolvimento do DAEI. Fatores como objetivos não condizentes com o neurodesenvolvimento do aluno, falta de comunicação entre a equipe pedagógica e a família do estudante, espaço de atendimento inadequado, tempo de intervenção insuficiente e resistência do próprio aluno à intervenção, precisam ser levados em consideração na estruturação do *Designer*.

Figura 34: Estrutura do *Designer de Atendimento Educacional Individualizado*



A presente pesquisa mostrou que a intervenção individualizada melhorou o desempenho do estudante com SW nas habilidades da CogN, principalmente no que se refere ao *Senso Numérico* e ao *Processamento Numérico*. Dessa forma, o apoio individualizado precisa ser focado na compreensão das estratégias utilizadas pelo aluno para solucionar problemas matemáticos.

A instrução das atividades da intervenção precisa ser apropriada com o desenvolvimento cognitivo de cada aluno. Isso possibilitará ao professor entender os pontos fracos do aluno e estimular seus pontos fortes. Por exemplo, durante o desenvolvimento do *Designer* o estudante pode ser orientado a resolver o máximo possível do trabalho proposto para a sessão de intervenção.

O fato de o atendimento ser individualizado não implica em excluir o aluno das atividades coletivas, pelo contrário, as atividades coletivas precisam ser colaborativas ao invés de competitivas, pois o cérebro é social e desenvolve-se melhor em contato com outros cérebros. O apoio individualizado colabora para identificar as habilidades da CogN compensadas pela intervenção e compreender melhor os talentos do estudante, porque aprender envolve atenção focada na atividade proposta e percepção periférica, por isso evitar os estímulos concorrentes.

O apoio individualizado pode permitir ao professor desenvolver um relacionamento cooperativo com o aluno e com isso potencializar uma nova dinâmica de interações do estudante com o conhecimento matemático sistematizado e ainda impulsionar o desenvolvimento de novas aprendizagens e estratégias. Esse tipo de investimento pode ser decisivo na evolução positiva do quadro de discalculia.

O contato individualizado possibilita a identificação de interesses e habilidades pessoais em relação à Matemática. Esse acompanhamento individual pode ser centrado em aspectos sociais, afetivos, motores e cognitivos.

Outros procedimentos podem ser adotados na primeira etapa do *Designer*, por exemplo, o professor antes de iniciar o atendimento precisa deixar claro quais são suas expectativas na realização das atividades, explicar as técnicas de aprendizagem que serão desenvolvidas na sessão de intervenção e estabelecer, sobretudo, uma rotina diária com períodos de descanso.

O apoio individualizado requer também modificações no ambiente de sala de aula, tais como mudar as mesas e as cadeiras de tal forma que o aluno fique próximo ao professor e longe de janelas e portas ou áreas de distração, pois o aluno com SW apresenta *Transtorno de Déficit de Atenção* e fica mais vulnerável aos estímulos concorrentes que prejudicam sua atenção.

Esses cuidados podem melhorar o desempenho do estudante em atividades que requeiram concentração, tais como comparar a numerosidade de dois conjuntos de pontos sem ter que contá-los (estimativa da magnitude não simbólica); estimar a numerosidade por estimativa súbita (*subitizing*); estimar o resultado da adição de conjuntos de pontos sem ter de contá-los; desenvolver a magnitude numérica simbólica (estimar a quantidade) e enumerar os pontos de um conjunto por processo de contagem em voz alta. Portanto, o atendimento educacional individualizado é necessário, pois cada cérebro organiza sua aprendizagem de forma única.

O estímulo positivo refere-se às atividades da intervenção possíveis de potencializar a participação ativa do aluno durante o treinamento das habilidades da CogN. Uma organização didático-pedagógica que reforça os pontos fortes do participante e o encoraja a enfrentar suas dificuldades de aprendizagem.

O professor responsável pelo atendimento individualizado precisa demonstrar interesse pelas atividades realizadas pelo aluno e reconhecer o esforço empenhado por ele na tarefa, pois é necessário atentar para a evolução e dedicação no desenvolvimento da intervenção, deixando-o assim mais motivado. Por outro lado,

se o estudante apresentar comportamento de frustração na realização das atividades, o professor pode incentivá-lo a continuar tentando.

Santos (2017, p. 71) afirma que “para alcançar o melhor desempenho possível na intervenção, é importante que o estudante esteja motivado na realização do treinamento”. Conforme a autora, uma forma de potencializar o treinamento da CogN faz-se necessário esclarecer para o participante o motivo pelo qual tem de fazer o que lhe é proposto.

No caso de uso do *Dybuster Calcularis*, é importante para o professor e para o estudante compreender que o programa é adaptativo e que as situações em que ocorrem erro demonstram evolução nas atividades, ao passo que a complexidade das atividades são oriundas de novas habilidades matemáticas, por isso o treinamento se torna cada vez mais desafiador.

O erro não pode ser reforçado. O estudante não pode sofrer críticas e nem ser repreendido diante de uma situação de erro. Assim, o professor precisa organizar atividades em que o participante se sinta capaz de resolver e encorajá-lo a trabalhar suas dificuldades de aprendizagem, para isso precisa entender os domínios da CogN prejudicados pela discalculia e estimular as habilidades matemáticas conservadas.

O estímulo positivo precisa ser estendido à sala de aula regular, por isso o professor que oferece o atendimento educacional individualizado pode trabalhar em parceria com os professores da turma regular para orientá-los na construção de recursos e atividades acessíveis e coerentes com o desempenho cognitivo do estudante, ou seja, materiais especializados podem ser incluídos para ensinar os mesmos conceitos em níveis que o aluno possa lidar.

Essa parceria entre o professor do atendimento individualizado e do professor da turma regular é necessário, pois durante a formação inicial (licenciatura) não há disciplinas que abordem com profundidade aspectos relacionados ao processo de ensino e aprendizagem de alunos com transtornos específicos da aprendizagem matemática.

Ainda na perspectiva do reforço positivo, o professor precisa planejar atividades que permitam ao aluno ser bem-sucedido para ajudá-lo a melhorar seu autoconhecimento e desenvolver sua autoestima. Para isso, o estudante será auxiliado a descobrir estratégias para solucionar os problemas propostos durante o treinamento e o tempo de realização das atividades precisa ser flexibilizado.

Para fazer o aluno se sentir motivado para aprender precisa-se moderar a perseverança, pois ela pode se transformar em uma fonte de frustração para o estudante com discalculia. Expressões do tipo, “se não conseguir, continue tentando”, podem reforçar a dificuldade em aprender matemática e isso se tornar um obstáculo à participação efetiva nas atividades, pois o uso de métodos ou materiais inapropriados pode reforçar o fracasso. O professor precisa rever os objetivos da aprendizagem e reelaborá-los de acordo com as possibilidades cognitivas do aluno, porque uma mudança na abordagem pode ser mais efetiva do que mais esforço.

Na organização do planejamento do *Designer*, os conteúdos matemáticos precisam ser segmentados de acordo com os domínios da CogN. Isso se faz necessário porque o aluno com SW têm dificuldades com o sequenciamento do assunto abordado, isto é, organizar segmentos do conteúdo em uma ordem lógica ou significativa.

Por isso, geralmente os estudantes com discalculia não conseguem entender os conteúdos e organizá-los conforme a abordagem dada pelo professor. No caso da atual pesquisa, o participante apresentava dificuldade em executar algoritmos da adição com reserva ou da subtração com recurso. Ele não conseguia segmentar as tarefas complexas em componentes mais simples que viessem contribuir para a realização da tarefa proposta. Nesse contexto, o professor do atendimento educacional individualizado precisa dividir/segmentar a maioria das tarefas e repassá-las muitas vezes antes de deixar o aluno agir sozinho. O acompanhamento e apoio do professor contribui para a construção da autonomia no aluno.

O trabalho de segmentação dos conteúdos pode ser determinante para a aprendizagem do aluno com discalculia. A pesquisa mostrou que existe uma relação entre as habilidades cognitivas básicas e a Matemática, e esse aspecto tornou-se evidente no caso investigado. Diversas funções numéricas básicas estão relacionadas e segmentá-las faz-se necessário, por exemplo, no domínio do processamento numérico, segundo modelo de CogN adotada na pesquisa, existem habilidades relacionadas à produção numérica e à compreensão numérica que estão diretamente ligadas ao processo de aprendizagem da Matemática, mas que precisam serem segmentadas, caso contrário, o aluno com SW pode não conseguir melhorar seu desempenho escolar.

A transcodificação numérica, por exemplo, envolve habilidades matemáticas que precisam ser segmentadas nas tarefas escolares. O professor pode propor

atividades de contagem oral de pontos para, então, propor atividades de mapeamento em pontos e, por fim, desafiar o aluno a mapear palavras faladas em dígitos. Essa organização didático-pedagógica apoiada em pesquisas de Neurociência Cognitiva pode evitar de que os alunos destinem bastante tempo recitando números na expectativa de um dia aprender o processo de transcodificação numérica.

A importância de segmentar o conteúdo na organização do processo de ensino e aprendizagem é reforçada a partir de resultados de pesquisas desenvolvidas por Dehaene (2011) que apresentaram evidências de que a habilidade de nomear números de dois dígitos, por exemplo, está fortemente correlacionada com o sistema simbólico de aproximação numérica, ao invés de ter relação com o sistema não simbólico. Por isso, entender o funcionamento do cérebro durante a aprendizagem Matemática é relevante para o ensino de Matemática em geral.

O processo de compreensão numérica precisa ser segmentado para melhor entendimento de alunos com SW, pois evidências científicas (DEHAENE, 2011) mostram que o sistema simbólico de numeração é modulado mais pelo desenvolvimento e educação formal do que o sistema não simbólico. Assim, a ampliação do léxico numérico, por exemplo, é um processo que acontece intuitivamente, ao passo que a aprendizagem da sintaxe numérica é organizada na educação escolar, logo o papel do professor na segmentação do conteúdo matemático para o ensino e a aprendizagem de alunos com SW é relevante.

A segmentação do conteúdo não é sinônimo de que, necessariamente, o aluno com SW seja incapaz de aprender determinados conteúdos matemáticos por causa de suas dificuldades. Quando o professor organiza a atividade e divide as tarefas em etapas ou fases, esta pode tornar-se menos complexo para o aluno. Por exemplo, quando o aluno já aprendeu a realizar tarefas de transcodificação numérica, o professor pode iniciar o trabalho de compreensão de valor posicional, então, o primeiro passo é fazer com que o aluno aprenda que o valor de um dígito individualmente é determinado pela sua posição dentro do número, e o valor numérico é determinado pela soma de cada um desses valores.

A compreensão do valor posicional é preditivo à aprendizagem de adição. Por isso, faz-se necessário segmentar o conteúdo e a falta de entendimento do valor posicional pode limitar a aprendizagem de outras habilidades matemáticas

relacionadas ao funcionamento de algoritmos das operações, principalmente, adição e subtração. A compreensão desse conteúdo (valor posicional) está implícita em tarefas de números falados, mas o mapeamento de números falados para os números escritos não se dá de maneira imediata, precisa da intervenção da educação formal.

O participante da atual pesquisa, nas tarefas de mapeamento de números falados para os números escritos, apresentou dificuldades na compreensão do valor posicional, pois outra habilidade preditiva ao valor posicional, a compreensão do sistema numérico decimal, não tinha sido consolidada e erros do tipo “100205”, ao invés de “125”, foram evidentes no processo de avaliação da CogN. O erro consistia porque escrevia os números na ordem em que os ouvia, ou seja, utilizava uma escrita escalonada durante o processo de mapeamento numérico. Essas evidências da pesquisa sugerem segmentar o conteúdo matemático de acordo com a competência matemática do estudante atendido.

Na organização do *Designer* o mais importante na reestruturação ou segmentação das tarefas é criar um conjunto de atividades mais simples que possam ser realizadas pelo aluno, principalmente, por conta própria. Se mesmo com a segmentação do conteúdo o aluno permanecer apresentando muitas dificuldades para avançar na aprendizagem ou não conseguir acompanhar as etapas das atividades, pode ser necessário que o professor construa, como estratégia alternativa, *pistas como estratégia de aprendizagem*.

A flexibilização das tarefas pode ser a chave para o sucesso do aluno com discalculia na realização das atividades, mas para isso o professor pode criar estratégias alternativas para a aprendizagem, uma delas é a construção de pistas. A construção de pistas pode ajudar o estudante a descobrir/entender seu estilo de aprendizagem preferidos.

Ajudar na escolha do sentido sensorial preferencial (SSP) do aluno é o primeiro passo para a construção de pistas de aprendizagem. Alguns alunos são mais visuais, enquanto outros mais auditivos ou cinestésicos e fazer com que o aluno perceba suas potencialidades é essencial na organização do *Designer*. O professor do atendimento individualizado tem mais oportunidade de saber o SSP de seu aluno, pois terá mais tempo e destinará mais atenção individual.

As pistas de aprendizagem precisam ser colocadas conforme o estilo de aprendizagem do participante da intervenção, porque propor estratégias de ensino

que não corroboram com o SSP do estudante pode tornar-se ineficientes diante do quadro de discalculia. As pistas podem ser dadas a partir da manipulação de materiais concretos. Por exemplo, o aluno com SW apresenta muita dificuldade em abstrair relações matemáticas e cálculos utilizando somente lápis e papel como suporte pode não ser uma estratégia eficaz, mas as peças do Material Dourado podem servir como suporte/pista para a aprendizagem de fatos aritméticos e auxiliar na compreensão do algoritmo da subtração com recurso.

Realizar a leitura de um problema matemático para o aluno com SW pode ser uma estratégia eficiente, pois eles são mais auditivos e se interessam mais por leitura em voz alta. Durante a leitura de um problema de adição, o professor pode enfatizar termos que conotem a ideia de somar e ir apontando para as palavras lidas. Ler para o participante da intervenção pode aumentar o seu vocabulário e incentivá-lo ou encorajá-lo a resolver a tarefa, além de estimular o raciocínio lógico.

No processo de produção numérica, ou seja, na leitura e na escrita de números, se o aluno apresentar um padrão de erro que consiste em adicionar dígitos extras a numerais extensos (escrita escalonada), por exemplo “100205” (cento e vinte e cinco), o professor pode confeccionar cartões com valores, respectivamente, 100, 20 e 5, e utilizá-los na realização da atividade de escrita de números e como pista de aprendizagem realizar a sobreposição dos cartões para que o aluno compreenda o princípio do valor posicional.

No caso de tarefas de cálculo, o aluno com SW apresenta muita dificuldade devido não conseguir guardar muitos fatos aritméticos na memória. Diante desse contexto, a utilização de processos de contagem poderia ser uma estratégia que contribuísse para a aprendizagem aritmética e servir como pista, pois a contagem em si é particularmente importante para a aprendizagem de habilidades matemáticas mais complexas. Evidências de pesquisas realizadas por Geary (2009; 2011; 2013) apontaram para o fato de a contagem ser usada desde o início do cálculo e permitir o uso automático de informações relacionadas à matemática que possibilitam que outros recursos cognitivos sejam dirigidos a tarefas de cálculo mais complexas, como a composição e decomposição de quantidades.

O uso de pista de aprendizagem pode auxiliar na evolução da compreensão de habilidades matemáticas, por exemplo, durante o processo de contagem, o professor pode ajudar o aluno a entender como dez unidades podem ser representadas na casa das dezenas. Dessa forma, o aluno pode evoluir de um

processo de contagem procedimental, colocar números em sequências orais, para um processo de contagem conceitual, ou seja, entender como a contagem funciona.

O professor do atendimento individualizado precisa, *a priori*, conhecer as possibilidades de pistas de aprendizagem para trabalhar em cada momento do DAEI, caso contrário, pode perder oportunidades de melhorar as habilidades matemáticas inerentes à CogN, por isso a importância de considerar as evidências de pesquisas em neurociências na organização do DAEI e, com isso, construir uma ponte entre a Neurociência Cognitiva e a Educação Matemática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A atual pesquisa que teve como objetivo principal *investigar o efeito do Treino Computadorizado de Habilidades Matemáticas sobre o desenvolvimento da Cognição Numérica (senso numérico, processamento numérico e cálculo) em um estudante adulto com Síndrome de Williams-Beuren* possibilitou estabelecer reflexões sobre a importância de compreender o processo de ensino e aprendizagem da Matemática a partir de evidências de pesquisas em neurociências.

O estudo provocou ainda a reflexão sobre as contribuições da Neurociência Cognitiva para a construção de um *Designer de Atendimento Educacional Individualizado* para alunos com discalculia. Essa organização didático-pedagógica pode ajudar a identificar as limitações e potencialidades dos estudantes com SW atendidos na Sala de Recursos Multifuncionais (SRM) e que recebem Atendimento Educacional Especializado (AEE).

Outro aspecto relevante é o fato de que ensinar estratégias cognitivas aos alunos com discalculia pode melhorar seu desempenho escolar em Matemática e, conseqüentemente, diversas habilidades relacionadas à Cognição Numérica. Entre essas estratégias está a comparação da numerosidade e a estimação do resultado da adição de dois conjuntos de pontos sem ter que contá-los. Essas habilidades são determinantes para a melhoria do desempenho matemático relacionado ao domínio do Senso Numérico.

A pesquisa identificou os principais transtornos da aprendizagem matemática ocasionados pela SW. Entre eles destacou-se a dificuldade em compreender a magnitude numérica simbólica e/ou não simbólica, assim como nomear termos e símbolos relacionados à linguagem matemática, bem como a leitura e a escrita de números e cálculos mentais.

Essas limitações na aprendizagem matemática podem agravar-se caso o aluno com SW e/ou com discalculia receba reforços negativos em relação ao seu desempenho escolar. Ao tentar e não conseguir resolver uma tarefa matemática pode surgir a desmotivação e com isso o desempenho cai ainda mais. Nesse contexto, o apoio do professor que acompanha esse estudante é essencial para o processo de ensino e aprendizagem, pois a aprender Matemática tem importância na vida desse indivíduo e a escola precisa criar instrumentos e estratégias didático-

pedagógicas capazes de oferecer melhorias significativas em tarefas que envolvam habilidades da CogN comprometidas pela SW.

Outro aspecto que merece destaque está relacionado ao fato de nas escolas, nas secretarias de educação e/ou nas secretarias de saúde ter disponível aos alunos com transtornos específicos de aprendizagem uma equipe multidisciplinar formada por psicólogo, oftalmologista, neurologista, geneticista, assistente social, psicopedagogo, pedagogo, educador matemático e educador físico. Esses profissionais podem trabalhar em parceria e atender em duas vertentes: vertente clínica e vertente educacional. A oferta de um serviço multidisciplinar pode auxiliar na construção de um laudo clínico que orientará o atendimento educacional individualizado.

Nenhum teste, por si só, é capaz de identificar todas as informações necessárias para construir um plano de atendimento educacional individualizado, por isso a importância de uma equipe multidisciplinar. Cada profissional que compõe a equipe tem estratégias, ferramentas e técnicas distintas para construir informações sobre o aluno com SW e/ou discalculia; e a perspectiva é usar todos os métodos necessários para desenvolver uma visão completa do estudante.

Na atual pesquisa, o participante recebeu atendimento de uma equipe multidisciplinar formada por médicos, neurologista, geneticista, oftalmologista, cardiologista, psicopedagogo, professor da educação especial e educador matemática. Esse trabalho em equipe favoreceu um atendimento educacional individualizado mais detalhado em relação aos transtornos da aprendizagem matemática.

Esse trabalho de avaliação multidisciplinar abrangeu além da identificação das habilidades matemáticas comprometidas pela SW; ela também identificou as potencialidades de aprendizagem apresentadas pelo participante e direcionou como seu desempenho escolar era afetado pelo ambiente e pelas distintas abordagens de ensino. Entretanto, se a avaliação não for abrangente e multidisciplinar, o baixo rendimento escolar em Matemática pode ser acentuado por ser mal interpretados.

O estudo apontou que a avaliação multidisciplinar possibilita o direcionamento da intervenção. O *Dybuster Calcularis* serviu como apoio para o desenvolvimento de habilidades matemáticas prejudicadas pela SW e permitiu um treinamento sistematizado e consecutivo que aprimorasse a capacidade do participante nos três

domínios da CogN, principalmente, nas habilidades relacionadas ao Senso Numérico e ao Processamento Numérico.

A pesquisa revelou, a partir dos relatórios gerados pelo *Dybuster Calcularis*, que o participante se beneficiou da intervenção quando verificado o desempenho matemático no pós-teste em relação ao pré-teste. O estudo constatou que a representação espacial dos números foi estimulada e produziu melhorias em relação à linha numérica mental e, conseqüentemente, implicou positivamente no desenvolvimento numérico do aluno.

O processo de intervenção modulou os conhecimentos matemáticos mais prejudicados pela SW e se adaptou satisfatoriamente às diferenças individuais. Esse aspecto contribuiu para sustentar a tese de que o estudante com SW poderia ter seu desempenho matemático compensado se submetido à intervenção e ao acompanhamento educacional individualizado em longo prazo, pois o participante demonstrou melhorias significativas na CogN após o treinamento digital *Dybuster Calcularis*.

Os benefícios da intervenção apresentaram-se expressivamente nas tarefas de estimativa de magnitude simbólica; estimativa súbita da magnitude; estimativa da magnitude não simbólica; contagem numérica; desenvolvimento da contagem oral; representação da magnitude simbólica; comparação da magnitude numérica; linha numérica; valor posicional; transcodificação numérica; fatos numéricos relacionados à adição e à subtração de até dois dígitos, principalmente no que se refere ao conhecimento de procedimento de cálculo.

Por outro lado, os benefícios foram pouco expressivos em tarefas de fato numérico relacionado ao desenvolvimento de estratégias de cálculo e à evocação de fato numérico com precisão e fluência. Além disso, o participante não conseguiu progredir para as operações de multiplicação e de divisão, pois precisaria de um tempo maior.

Esses aspectos pouco expressivos sugerem novas pesquisas relacionadas, sobretudo, às operações de multiplicação e divisão. Investigar com mais profundidade os mecanismos cerebrais envolvidos em tarefas de conhecimento de procedimentos de cálculo de multiplicação e divisão com mais de um dígito e o emprego de estratégias para solucionar com precisão esses cálculos, é um campo promissor na Educação Matemática e/ou na Educação Especial.

A pesquisa identificou uma forte relação entre as habilidades linguísticas e as habilidades matemáticas conservadas no aluno com SW. Esse indicador sugere estudos sobre a resolução de problemas matemáticos apresentados oralmente e por escrito. Essa relação entre linguagem e matemática evidencia-se devido a pessoa com SW apresentar características da dislexia.

Nesse contexto, o estudo possibilitou inferir que as áreas cerebrais associadas à leitura que são prejudicadas pela dislexia, por exemplo o giro angular ou área 39 de Brodmann, estão também relacionadas à aprendizagem matemática. Conforme a investigação, o giro angular esquerdo desempenha um papel importante no armazenamento e no resgate de informações semântico-verbal, logo implica no desenvolvimento das representações simbólicas como a linguagem e os números.

A dificuldade em encaminhar uma criança com SW que tem discalculia e que também tem dislexia para uma avaliação multidisciplinar e, posteriormente, para intervenção é um dos maiores desafios diante da alta ocorrência de comorbidades não diagnosticadas que implicam em transtornos específicos de aprendizagem, mas se os programas educacionais e os profissionais da educação começarem a considerar as evidências científicas resultantes de pesquisas em Neurociência Cognitiva como um instrumento de compreensão dos problemas de aprendizagem, pode-se estabelecer uma ponte entre as Neurociências e a Educação Matemática.

REFERÊNCIAS

ARSALIDOU, M. TAYLOR, M. J. **2 + 2 = 4? Meta-análises de áreas cerebrais necessárias para números e cálculos.** vol. 54. *Córtex*, 2011, p. 282-293.

BASTOS, José Alexandre. **Matemática: distúrbios específicos e dificuldades.** In: ROTTA, N. T. BRIDI-FILHO, C. A. BRIDI, F. R. de S. *neurologia e aprendizagem: abordagem multidisciplinar.* Porto Alegre: Artmed, 2016.

BRASIL. **Documento Orientador Programa Implantação de Salas de Recursos Multifuncionais.** Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. Brasília: MEC/SECADI, 2014.

BRAUWER, Jolien de. *et al.* **Sixty-four or four-and-sixty? The influence of language and working memory on children's number transcoding.** *Frontiers in Psychology*, v. 5, n. 3, 2014.

BUTTERWORTH, Brian. **The development of arithmetical abilities.** *Journal of Child Psychology and Psychiatry*. v. 1, p. 3-18, 2005.

CARTER, Henry Vandyke. GRAY, Henry. **Anatomy of the Human Body.** 40. ed. São Paulo: Saraiva, 2008.

CEBOLA, Graça. **Do número ao sentido de número.** *Sociedade portuguesa de Ciências de Educação.* Secção de Educação Matemática, 2002.

CHO, S. et al. **How does a child solve 7 + 8? Decoding brain activity patterns associated with counting and retrieval strategies.** *Revista Developmental Science*, v. 14, n. 5, p. 989-1001, 2011.

COHEN-KADOSH, R. DOWKER, A. **The Oxford handbook of Numerical Cognition.** England: Oxford University Press, 2015.

DEHAENE, S. COHEN, L. **Towards an anatomical and functional model of number processing.** *Mathematical cognition*, vol. 1, p. 83-120, 1995.

DEHAENE, S. **Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence.** *Science*, vol. 2, p. 970-974, 1999.

_____. **Three parietal circuits for number processing.** *Cognitive neuropsychology*, vol. 23, p. 487-506, 2003.

_____. **Arithmetic and the brain.** *Current Opinion in Neurobiology*. v. 14, p. 218-224, 2004.

_____. **Origins of mathematical intuitions.** *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1, p. 232-259, 2009.

_____. **The Number Sense: how the mind creates mathematics.** 2. ed. New York: Oxford University Press, 2011.

FIORI, Nicole. **As neurociências cognitivas.** Lisboa: instituto Piaget, 2006.

GEARY, David C. **Numerical and Arithmetical Cognition: patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability.** *Journal of Experimental Child Psychology.* v. 3, p. 213-239, 2009.

_____. **Cognitive predictors of achievement in mathematics: a five year longitudinal study.** Washington, *Curr Dir Psychol,* v. 1, p. 18-27, 2011.

_____. **Early foundations for mathematics learning and their relations to learning disabilities.** Washington, *Curr Dir Psychol,* v. 1, p. 18-27, 2013.

GONÇALVES-MAIA, Raquel. **Ciência, pós-ciência, metaciência: tradição, inovação e renovação.** São Paulo: Livraria da Física, 2011.

HAASE, Vitor GERALDI. DORNELES, Beatriz Vargas. **Aprendizagem numérica em diálogo.** In: LENT, Roberto. BUCHWEITZ, Augusto. MOTA, Mailce. (orgs.). **Ciência para Educação: uma ponte entre dois mundos.** São Paulo: Atheneu, 2018.

HAASE, Vitor GERALDI. *et al.* **Phonemic wareness apathway to number transcoding.** *Frontiers in Psychology,* v. 5, n. 13, 2014.

HEINZEN, Elena Garayzábal. **Síndrome de Williams: materiales y análisis pragmático.** Valência: AVALCC, 2005.

IUCULANO, Teresa *et al.* **Cognitive tutoring induces widespread neuroplasticity and remediates brain function in children with mathematical learning disabilities.** *Nat. Commun.* v.6, 2015, p. 126-141.

JOLLE, D. *et al.* **Reconfiguration of parietal circuits with cognitive tutoring in elementary school children.** vol. 83. *Cortex,* 2016, p. 231-245.

KAUFMANN, Liane *et al.* **Discalculia do desenvolvimento: mecanismos compensatórios nas regiões intraparietais esquerdas em resposta a magnitudes não simbólicas.** *Revista Behavioral and Brain Functions.* v. 5, n. 3, p. 5-35, 2009.

KAUFMANN, Liane. VON ASTER, Michael. **The diagnosis and management of dyscalculia.** *Revista Continuing Medical Education.* n. 45, p. 767-778, 2012.

KÄSER, T. *et al.* **Modeling and optimizing the process of learning mathematics.** In: *International Conference on Intelligent Tutoring Systems.* Springer berlin Heidelberg, 2012.

KUCIAN, K. *et al.* **Mental number line training in children with developmental dyscalculia.** *NeuroImage,* 2011.

LANDAU, Bárbara. et al. **Understanding the mapping between numerical approximation and number words:** Evidence from Williams syndrome and typical development. Vol. 17. *National Institutes of Health*, p. 905-919, 2014.

LANDAU, Bárbara. HOFFMAN, J. E. **Spatial representation:** From gene to mind. New York, NY: Oxford University Press, 2012.

LENT, Roberto. **Cem bilhões de neurônios:** conceitos fundamentais. Atheneu: São Paulo, 2002.

LENT, Roberto. MOTA, Malice Borges. BUCHWEITZ, Augusto. Mais ciência para a educação dos brasileiros. *In:* LENT, Roberto. BUCHWEITZ, Augusto. MOTA, Mailce. (orgs.). **Ciência para Educação:** uma ponte entre dois mundos. São Paulo: Atheneu, 2018.

LE CORRE, Mathieu. CAREY, Susan. **One, two, three, four, nothing more:** an investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, v. 4, n. 1, 2014.

MACHADO, Ângelo. **Neuroanatomia funcional.** 4. ed. São Paulo: Atheneu, 2014.

MCCLOSKEY, M. CARAMAZZA, A. BASILI, A. **Cognitive mechanisms in number processing and calculation:** evidence from dyscalculia. *Brain and Cognitive*, n. 4, p. 171-196, 1985.

MERVIS, Carolyn B. JOHN, Angela E. **Cognitive and Behavioral Characteristics of Children with Williams Syndrome:** implications for intervention approaches. *Revista Med Genet*, v. 41, n. 2, p. 229-248, 2010.

MOELLER, Korbinian *et al.* **A unitary or multiple representation of numerical magnitude?** The case of structure in symbolic and non-symbolic quantities. *Front Psychol.*, v. 3, n. 191, 2012.

MOELLER, Korbinian *et al.* **The use of local and global ordering strategies in number line estimation in early childhood.** *Frontiers in Psychology*, v. 9, n. 15, 2018.

NETTER, Frank H. **Atlas de Anatomia Humana.** 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

O'HEARN, Kirsten. LANDAU, Barbara. **Mathematical skill in individuals with Williams Syndrome:** Evidence from a standardized mathematics battery. *Brain Cogn*, v. 63, n. 3, p. 238-246, 2008.

RAUSCHER, L. et al. **Evaluation of a computer-based training program for enhancing arithmetic skills and spatial number representation in primary school children.** *Frontiers in Psychology Computerized Training programs*, 2016.

ROBINSON, K. M. ARBUTHNOTT, KD. ROSE, D. MCCARRON, C. A. GLOBALA, S.D. **Estabilidade e mudança nas estratégias de divisão.** vol. 93. *Child Psychol*, 2006, p. 224-238.

ROBINSON, Sally. TEMPLE, Christine. **Dissociations in mathematical knowledge: Case studies in Down's syndrome and Williams syndrome.** *Revista Cortex*, v. 49, n. 2, p. 534-548, 2015.

ROUSSELLE, Laurence. DEMBOUR, Guy. NOËL, Marie-Pascale. **Magnitude Representations in Williams Syndrome: differential acuity in time, space and number processing.** *Revista PlosOne*. vol. 8, n. 3, 2013.

SANTOS, Flávia Heloísa dos. **Discalculia do Desenvolvimento.** São Paulo: Pearson, 2017a.

_____. **Guia do tutor Calcularis.** São Paulo: Pearson Clinical, 2017b.

SOLTÉSZ, Fruzsina. SZÜCS, Dénes. SZÜCS, Lívia. **Relationships between magnitude representation, counting and memory in 4 to 7 year old children: a developmental study.** *Behavioral and Brain Functions*, v. 6, n. 13, 2010.

SPINILLO, Alina Galvão. **O sentido de número e sua importância na Educação Matemática.** In: BRITO, Márcia Regina Ferreira de. (org.). *Solução de Problemas e a Matemática Escolar.* Campinas, SP: Alínea, 2010.

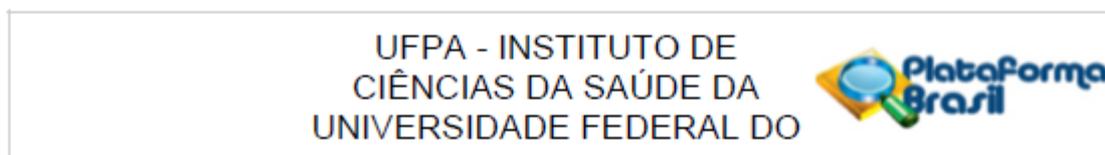
STERN, Elsbeth. **Pedagogy Meets Neuroscience.** *Revista Science*. vol. 3, nº 10, 2005.

VANBINST, K. ANSARI, D. SMEDT, B. LAGAE, L. **Perfis do desenvolvimento de fato aritmético das crianças: uma abordagem de agrupamento baseado em modelo.** vol. 133. *Child Psychol*, 2015, p. 29-46.

WEINSTEIN, Mônica Cristina Andrade. **PROMAT: um roteiro para a sondagem de habilidades matemáticas no Ensino Fundamental.** São Paulo: Casa do Psicólogo, 2016.

WICKSTROM, Jarkko. **O que ninguém te conta sobre a Educação na Finlândia.** *Revista Nova Escola*. vol. 1, nº 2, 2019.

WILSON, Ana J. et al. **An open trial assessment of “The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia.** *Revista Behavioral and Brain Functions*. v. 2, n. 20, 2006.

ANEXO – PARECER DO CEP

Continuação do Parecer: 2.624.998

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Diante do exposto somos pela aprovação do protocolo. Este é nosso parecer, SMJ.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_940065.pdf	20/02/2018 14:04:20		Aceito
Outros	Declaracao_Isencao_Onus.pdf	12/02/2018 16:55:22	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Outros	Termo_Aceite_Orientador.pdf	12/02/2018 16:54:34	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Outros	Carta_Encaminhamento_Cep.pdf	12/02/2018 16:53:42	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termo_Compromisso_Pesquisador.pdf	12/02/2018 16:52:22	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	Termo_Aceite_Instituicao.pdf	12/02/2018 16:51:38	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_Detalhado.pdf	12/02/2018 16:51:15	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	12/02/2018 16:50:57	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito
Folha de Rosto	Folha_Rosto.pdf	12/02/2018 16:50:35	FABIO COLINS DA SILVA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não