UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE FÍSICA

ELOISA NERI DE OLIVEIRA OLIVA

**O desenvolvimento do pensamento espacial e a cognição incorporada:
novas perspectivas para o ensino de ciências e matemática**

São Paulo

2018

ELOISA NERI DE OLIVEIRA OLIVA

**O desenvolvimento do pensamento espacial e a cognição incorporada:
novas perspectivas para o ensino de ciências e matemática**

Versão corrigida

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Dissertação apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Ensino de Física

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Guilherme Brockington', is written over a horizontal line.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Brockington

São Paulo

2018

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA
Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Oliva, Eloisa Neri de Oliveira

O desenvolvimento do pensamento espacial e a cognição incorporada: novas perspectivas para o ensino de ciências e matemática.
São Paulo, 2018.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Brockington
Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Cognições;
3. Ensino e aprendizagem; 4. Atividade escolar.

USP/IF/SBI-009/2018

Dedico esta dissertação aos meus avós Maria Petronila Neri e José Joaquim Neri. Apesar do nosso breve encontro na vida, vocês me mostraram as coisas mais bonitas.

AGRADECIMENTOS

Para mim, esta não é apenas uma produção acadêmica. Este trabalho reflete partes de mim e do que eu acredito. Foram muitas as pessoas que de forma direta, ou indireta, contribuíram para que ele se concretizasse.

Agradeço ao meu orientador, Professor Guilherme Brockington, pelo seu inestimável apoio que estimulou cada vez mais o meu desejo pela pesquisa e pela educação. Por todas as vezes que me motivou e me ajudou, seja com palavras ou atitudes. Eu aprendi muito com você e sou muito grata por ter te conhecido. Também gostaria de agradecer pelas nossas discussões sobre educação e sociedade com o seu grupo, formado por pessoas incríveis que contribuíram muito com a minha formação: Amanda, Ana Paula, Camila, Guilherme, Lucas e Pamella.

Ao pessoal da Secretaria de Educação: Flavia, Dalva, Dinah, Andressa, Luzinaide, Beny, Simone. Em especial aos professores, coordenadores e diretores das escolas: Vanderlei, Luciana, Rejane, Maria Madalena, Sirlene, Ana Paula Farias, Laura, Vanderlei, Andréia, Marina, Ana Paula, Levi, Claudia, Tatiane e Carliane. Desde o início eu sempre tive o desejo de realizar algo para a cidade que me ajudou a concretizar sonhos. Com toda a certeza, nada seria possível sem vocês. Muito obrigada por abrirem as portas das escolas para que pudéssemos realizar este trabalho que acreditamos muito.

Aos membros da banca: Sérgio, Camilo, Ivã, Leonardo, Giselle e Milton. Muito obrigada por terem aceitado o convite e por contribuírem com a minha formação.

To Professor John Kirby, thank you for welcoming me into your research group and for being so helpful. Our conversations about education and society have contributed to my personal education.

Ao Professor Mauricio Pietrocola, muito obrigada por me receber em seu grupo e por ter contribuído com a minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização deste mestrado.

Aos meus amigos: Thiago Luiz, Isabella Petagna, Samira Lima, Murillo Bello, Beatriz Belloti, Leticia Viana, Vinícius Tavares, Felipe Dutra e Eloisa Gerolin. Muito obrigada por todos os momentos de descontração, por todas as nossas conversas e companheirismo que temos. Obrigada por trazerem leveza aos meus dias. Um agradecimento especial à Isa, que tirou um tempo para me ajudar com os testes neste trabalho. Sou grata por ter vocês na minha vida.

Aos meus padrinhos Caio Nogueira e Nataly Colombaro. Muito obrigada por todos os momentos em que estivemos juntos. Vocês são pessoas incríveis, com as quais sempre pude contar. Muito obrigada por estarem lá quando precisei de amizade e companheirismo. Vocês sempre me passaram essa humildade e tranquilidade que possuem e sou muito grata por isso.

Aos meus amigos Rafaella Ayllón, Camila Contrucci e Leonardo Domingos. Muito obrigada por tudo o que fizeram, não só por este trabalho, mas por mim. A ajuda de vocês foi fundamental para que tudo isso se concretizasse. Obrigada por toda a amizade que construímos durante esses anos e por todos os momentos de descontração. Eu me senti muito acolhida com a presença de vocês e ao mesmo tempo aprendi muito com cada um.

Aos meus familiares. Em especial aos meus pais, Maria do Carmo e José Antonio, e ao meu irmão, Luan. Seus ensinamentos sobre a vida me ajudaram a crescer e me formar como pessoa. Obrigada por estarem sempre comigo e por me darem a oportunidade de estudar, vocês são a minha base.

Ao meu amado Gustavo Oliva. Um profundo agradecimento por ser tão companheiro. O tempo todo ao meu lado, incondicionalmente. Muito obrigada por trazer essa paz, mesmo quando as nossas vidas acadêmicas não foram compatíveis fisicamente. Obrigada por sempre me fazer acreditar, me incentivar e me ensinar tantas coisas, inclusive a fazer análises estatísticas. Tudo isso foi fundamental para a concretização deste trabalho. Obrigada por ser a minha família.

“Na verdade, são poucos os que sabem da existência de um pequeno cérebro em cada um dos dedos da mão [...]” (SARAMAGO, 2000, p. 47)

RESUMO

OLIVA, Eloisa Neri de Oliveira. **O desenvolvimento do pensamento espacial e a cognição incorporada: novas perspectivas para o ensino de ciências e matemática**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências. Área de concentração: Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

O espaço fornece uma estrutura conceitual rica que nos possibilita distinguir objetos, compreender as suas funções e relacioná-los. O pensamento espacial é uma atividade cognitiva composta por conceitos e representações de espaço e aplicação a processos de raciocínio. Existem diversas evidências científicas que apontam que o pensamento espacial desempenha um papel fundamental tanto na atividade científica quanto na aprendizagem de ciências e matemática. O pensamento espacial se baseia em habilidades espaciais, tais como rotação mental e orientação espacial. Ainda, há resultados científicos que apontam que crianças do gênero masculino, tipicamente, possuem um desempenho melhor em testes de habilidades espaciais do que crianças do gênero feminino. Assim, o principal objetivo desta pesquisa consiste em desenvolver, implementar e analisar uma atividade que pretende desenvolver habilidades espaciais. Nosso trabalho se apoia na teoria da cognição incorporada, que considera que os processos cognitivos estão fortemente ligados a comportamentos motores e sensoriais. A atividade proposta consiste em um jogo chamado Math-e-motion projetado para estudantes do terceiro ano do Ensino Fundamental. Nesse jogo, estudantes exercem os papéis de saltadores e observadores. Os saltadores executam movimentos em um plano coordenado desenhado no chão. Os observadores, por sua vez, devem delinear o movimento executado pelo saltador em um plano coordenado desenhado numa prancheta. Mais importante, tal delineamento deve ser dado de acordo com a perspectiva do saltador. Todos os estudantes executam os dois papéis. Avaliamos a atividade proposta através de dois estudos controlados, cada qual envolvendo alunos de escolas públicas brasileiras. Como produto de uma colaboração internacional, também executamos o primeiro estudo em uma escola nos Estados Unidos. Os resultados obtidos indicam uma melhora nas habilidades de orientação espacial e de rotação mental. Além disso, os resultados também apontam para uma redução na diferença no desempenho do teste de orientação espacial entre os gêneros feminino e masculino. Para habilidades matemáticas, houve melhora significativa na habilidade de leitura de gráficos com informações implícitas. Com o respaldo da teoria da cognição incorporada, a nossa pesquisa pretende contribuir com uma discussão acerca do papel do corpo no processo de aprendizagem. Palavras-chave: Física – estudo e ensino. Cognições. Ensino e aprendizagem. Atividade escolar.

ABSTRACT

OLIVA, Eloisa Neri de Oliveira. **The development of spatial thinking and spatial thinking: new perspectives for the teaching of science and mathematics**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências. Área de concentração: Ensino de Física) – Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Space provides a rich conceptual framework that enables us to distinguish objects, understand their functions, and relate them. Spatial thinking is a cognitive activity composed of concepts and representations of space and application to reasoning processes. There is substantial scientific evidence showing that spatial thinking plays a fundamental role in the scientific activity and in the learning of science and mathematics. Spatial thinking relies on spatial abilities, such as mental rotation and spatial orientation. Moreover, there are scientific results showing that boys typically outperform girls in tests of spatial abilities. Therefore, the main goal of this research is to develop, implement, and analyze an activity that aims at developing spatial abilities. Our work relies on the theory of embodied cognition, which considers that cognitive processes are strongly linked to motor and sensory behaviors. The proposed activity is a game called Math-e-motion designed for students in third grade of Elementary School. In this game, students play the roles of jumpers and observers. The jumpers perform movements in a coordinate plane drawn on the floor. The observers, in turn, are asked to delineate the movement performed by the jumper in a coordinate plane drawn on a clipboard. Most importantly, such a delineation must be given according to the jumper's perspective. All students play both roles. We evaluated the proposed activity by means of two controlled studies, with each involving a group of students from two Brazilian public schools. As a product of an international collaboration, we also executed the first study in a private school in the United States. Our results showed an improvement in spatial orientation and mental rotation abilities. In addition, we also found a reduction in the difference of the scores obtained by male and female students in the spatial orientation test. For math abilities, we found a significant improvement in the ability to read charts with implicit information. With the support of the embodied cognition theory, our research aims at contributing with a discussion about the role of the body in the learning process.

Keywords: Physics – study and teaching. Cognitions. Teaching and Learning. School activity.

Lista de figuras

Figura 1. Sem contar, qual lado possui mais objetos?.....	30
Figura 2. Classificação 2x2 de habilidades espaciais e exemplos de cada processo espacial. .	31
Figura 3. Imagens utilizadas para tarefas de rotação mental.	32
Figura 4. Item de teste de orientação espacial.	33
Figura 5. Quebra-cabeças (3) à esquerda e (2) à direita.	49
Figura 6. Evolução das pesquisas em cognição incorporada e educação de acordo com a plataforma ERIC.....	50
Figura 7. Evolução de pesquisas em cognição incorporada e educação desde 2008 dos artigos selecionados na plataforma ERIC.....	51
Figura 8. Imagem esquemática de (1R,2R)-1-aminopropane-1,2-diol. Os balões superiores são diagramas de Newman e os inferiores, diagramas de Dash-Wedge.	56
Figura 9. Campo de jogo.	59
Figura 10. Execução da regra: três para direita e quatro para frente.	60
Figura 11. Prancheta para os observadores desenharem e anotarem as regras executadas.	61
Figura 12. Mudança de posição entre os observadores no sentido anti-horário.....	62
Figura 13. Grupo controle.	65
Figura 14. Exemplos resolvidos do Thurstone Mental Rotation Test.	67
Figura 15. Item resolvido do Spatial Orientation Test.	68
Figura 16, Imagem de uma questão do pré-teste utilizado na Califórnia: “Problema 1. [primeiro item] Imagine que você é o menino [mencionado nas instruções] e está no lugar do gato, olhando para a placa de pare. Desenhe uma linha sólida com uma seta para mostrar como você apontaria para a casa. [segundo item] Dentro do círculo desenhe outra linha com uma seta para mostrar como você apontaria para a casa.”	68
Figura 17. Item do teste de Rotação mental.	72
Figura 18. Boxplots dos ganhos do grupo controle e experimental para o teste de orientação espacial do estudo preliminar.	75
Figura 19. Boxplots dos resultados do pré-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo preliminar.....	77
Figura 20. Boxplots dos resultados do pós-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo preliminar.....	78
Figura 21. Boxplots das pontuações obtidas no pré-teste e pós-teste para o teste de orientação espacial na Califórnia.	79

Figura 22. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle e experimental para o teste de rotação mental do estudo preliminar.	81
Figura 23. Gráfico de percentual cumulativo de estudantes por número mínimo de acertos do estudo preliminar.	82
Figura 24. Gráfico de ganho por acertos no pré-teste para o teste de rotação mental do estudo preliminar. A linha tracejada indica uma regressão linear (tendência).	82
Figura 25. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para o teste de rotação mental do estudo final.	83
Figura 26. Boxplots dos resultados do pré-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo final.	85
Figura 27. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 1 do teste de matemática do estudo final.	86
Figura 28. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 2 do teste de matemática do estudo final.	87
Figura 29. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 3 do teste de matemática do estudo final.	88
Figura 30. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 4 do teste de matemática do estudo final.	90
Figura 31. Boxplots dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 5 do teste de matemática do estudo final.	91
Figura 32. Boxplots dos ganhos dos grupos controle, experimental e neutro para o teste do plano cartesiano do estudo final.	93
Figura 33. Imagem do teste do plano cartesiano de uma estudante do grupo experimental do estudo final.	95
Figura 34. Frames de dois momentos de um estudante do grupo experimental explicando uma rota no estudo final.	97
Figura 35. Pátio de uma das escolas.	99

Lista de tabelas

Tabela 1. Resultados das buscas pelos termos Embodied Cognition and Education no ERIC.	49
Tabela 2. Resultados das buscas separadas por termos no Google Acadêmico.	52
Tabela 3. Organização semanal da aplicação da investigação nas escolas no estudo preliminar.	65
Tabela 4. Organização semanal da aplicação da investigação nas escolas no estudo final.	71

Lista de abreviaturas e siglas

ERIC - Education Resources Information Center

IDEB – Índice de Desenvolvimento da Educação Básica

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PISA – Programme for International Student Assessment

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

ProUni – Programa Universidade para Todos

Reuni - Reestruturação e Expansão das Universidades Federais

ROSE - The Relevance of Science Education

SciElo - Scientific Electronic Library Online

STEM – Science, technology, engineering and mathematics

UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	15
CAPÍTULO 2 – PENSAMENTO ESPACIAL	23
2.1 Pensamento espacial: algumas definições	23
2.2 O pensamento espacial e o pensamento científico	25
2.3 O pensamento espacial e a capacidade de se pensar usando números	29
2.4 As habilidades espaciais	30
2.5 As diferenças entre os gêneros	34
2.6 A natureza do espaço para a Física e para o pensamento humano	37
CAPÍTULO 3 – A COGNIÇÃO INCORPORADA.....	44
3.1 O que é cognição incorporada?	44
3.2 As pesquisas na área	48
3.3 Por que cognição incorporada pode ser uma ferramenta para o aprimoramento de habilidades espaciais?.....	53
CAPÍTULO 4 – ABORDAGEM.....	58
4.1 A proposta	58
4.2 O Estudo preliminar.....	63
4.2.1 O público participante	63
4.2.2 O desenho experimental e seu desenvolvimento	64
4.2.3 Os testes.....	67
4.3 O Estudo final	69
4.3.1 O público participante	70
4.3.2 O desenho experimental e o seu desenvolvimento.....	70
4.3.3 Os testes.....	72
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E AMEAÇAS À VALIDADE.....	75
5.1 Resultados do estudo preliminar.....	75
5.1.1 Orientação espacial.....	75

5.1.2 Orientação espacial na Califórnia.....	79
5.1.3 Rotação mental	80
5.2 Resultados do estudo final	83
5.2.1 Rotação mental	83
5.2.2 Matemática	86
5.2.3 Plano cartesiano.....	92
5.2.4 Mapa	95
5.3 As ameaças à validade	98
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
REFERÊNCIAS	106
ANEXOS	111
ANEXO A – Teste de matemática	111
ANEXO B – Teste do Plano Cartesiano.....	114
ANEXO C – Mapas.....	115

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, inúmeros pesquisadores em ensino de ciências têm empenhado esforços para compreender e resolver um problema bastante atual que afeta a sociedade como um todo: o baixo interesse dos estudantes em exercer profissões relacionadas às ciências naturais e matemática (NETO, 2008).

O desinteresse por carreiras relacionadas à área de *STEM* (sigla em inglês para Ciência, Tecnologia, Matemática e Engenharia) foi um tema extensamente discutido na *11th Conference of the European Science Education Research Association* (ESERA 2015), um dos congressos internacionais mais importantes da área de ensino de ciências, cujo foco principal foi o engajamento dos estudantes para um futuro sustentável. Foram apresentados e discutidos diversos resultados de pesquisas que evidenciam esse problema (LANE, 2016; MALTBY et al., 2016; PERNA et al., 2010).

Nesse cenário, no Brasil, a disciplina de matemática é uma das que mais reprova estudantes nas escolas (SILVEIRA, 1999). O senso comum e a comunidade escolar, de modo geral, justificam este fato por considerarem a matemática uma disciplina difícil. Quem trava contato com o cotidiano das escolas básicas ouve, rotineiramente, que esta disciplina é “um bicho de sete cabeças”, conferindo-lhe assim a ideia de que a matemática é para poucos. Estes argumentos possuem raízes históricas e vêm sendo resignificados ao longo do tempo (SILVEIRA, 1999).

Desde o surgimento do conhecimento em matemática, tanto a sua produção quanto sua organização eram tidas como uma forma de poder de uma classe dominante (TENÓRIO¹, 1995 apud SILVEIRA, 1999). Um claro exemplo pode ser retirado da utilização dos nilômetros, instrumentos de base matemática criados pelos sacerdotes egípcios e que eram capazes de prever as enchentes do rio Nilo. A população local não tinha conhecimento acerca deste instrumento e sequer participava de alguma discussão técnica sobre o assunto. Assim, quando os sacerdotes previam as enchentes, eles apresentavam esta informação para o povo em forma de profecia. Desta maneira, eles não apenas conseguiam bens materiais e presentes, como alcançavam um determinado respeito da população que acabava os reverenciando, acreditando que eles possuíam um algum poder misterioso (SILVEIRA, 1999).

¹ TENÓRIO, R. M. **Aprendendo pelas raízes: alguns caminhos da matemática na história**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1995.

Com esta mesma ideia de que “matemática é para poucos” podemos citar a ordem e doutrina de Pitágoras. O processo de seleção para o ingresso na ordem incluía humilhação e escárnio do candidato, pois se ele fosse “forte” o suficiente para aguentar tamanho vexame, mereceria ser aceito (SILVEIRA, 1999). Uma situação similar ocorre com Platão que considerava a matemática algo ideal. Desta forma, ela utilizaria apenas o pensamento e não poderia ser verificada em laboratórios ou experimentada (LUNGARZO², 1990 apud SILVEIRA, 1999). Mas, ainda que icônicas, essas ideias seriam sempre pré-construídas, visto que:

[...] o sentido de um discurso vem de um outro sentido que já está pronto, e desta forma o discurso pré-construído torna-se ilocalizável. Assim, não podemos atribuir a Pitágoras ou Platão, por exemplo, a origem deste discurso, nem tampouco aos primeiros calculistas (SILVEIRA, 1999, p.6).

Contudo, este discurso na atualidade está presente na voz de diferentes agentes na sociedade, assim, Silveira (1999) aponta os agentes e os seus respectivos discursos. Para os professores, por exemplo, a matemática precisa tornar-se algo fácil e, além disso, julgam que existe uma certa “seleção natural” entre os alunos, separando os “talentosos” dos “mais fracos”. Mais do que isso, os professores atribuem ao fracasso dos estudantes em matemática os professores das séries iniciais que seriam “despreparados” para tal função, evidenciando que o ensinar matemática também é para poucos. Já a mídia acaba difundindo a ideia de que existem gênios, fazendo com que o estudante não se reconheça como uma pessoa capaz de aprender matemática por não ser genial, levando-o, por fim, a se filiar a este discurso.

Além disso, ainda considerando a matemática, um estudo realizado no início dos anos 80 por Carraher, Carraher e Schiliemann (1982) aponta o “fracasso escolar” como um fracasso da própria escola. Algumas abordagens sugerem que este fracasso está relacionado à privação cultural por parte do meio em que o estudante vive, outros à desvalorização da aprendizagem escolar por parte da família e até mesmo à seletividade do próprio sistema. Contudo, este estudo constatou que a escola ensina procedimentos matemáticos formais, como multiplicar, dividir, somar e subtrair, mas desconsidera as habilidades que os estudantes já possuem. Os alunos fazem uso de métodos e procedimentos “naturais” ou “inventados” para a resolução de problemas que não são aproveitados pela escola. Esses métodos podem ser definidos como composição do problema, ou seja, dividir o problema em subproblemas e agrupar as respostas (CARRAHER; CARRAHER; SCHILIMANN, 1982). Em suma,

² LUNGARZO, C. **O que é matemática**. São Paulo: Brasiliense, 1990. p. 86.

Dentro deste contexto, o fracasso escolar aparece como um fracasso da escola, fracasso este localizado a) na incapacidade de aferir a real capacidade da criança; b) no desconhecimento dos processos naturais que levam a criança a adquirir o conhecimento e c) na incapacidade de estabelecer uma ponte entre o conhecimento formal que deseja transmitir e o conhecimento prático do qual a criança, pelo menos em parte, já dispõe (CARRAHER; CARRAHER; SCHILIEMANN, 1982, p.86).

Ao centrar a análise desse problema em ciências, é possível notar que os estudantes brasileiros possuem um grande interesse na área e, além disso, julgam ter certa facilidade na aprendizagem de conteúdos científicos, como revelou o ROSE (*The Relevance of Science Education*) na pesquisa realizada por Neto (2008). No Brasil, os estudantes que participaram desse relatório revelaram possuir confiabilidade sobre seu conhecimento em ciências acima da média em relação aos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Entretanto, estes mesmos estudantes têm um baixo nível de interesse em exercer profissões relacionadas ao mundo científico. Ainda, os resultados desta investigação indicam que os meninos possuem um interesse maior em temas relacionados à tecnologia e física, enquanto as meninas em temas relacionados à saúde (NETO, 2008).

Sem dúvida é preciso muito cuidado ao se comparar dados da educação brasileira com outros países, visto que cada nação possui particularidades culturais, econômicas e sociais que influenciam diretamente nos resultados de testes padronizados. Mais que isso, não se pode negligenciar os objetivos ideológicos, políticos e econômicos que embasam quaisquer testes que medem *performances* dos países em um mundo globalizado. Dito isso, resguardada a vigilância necessária com a interpretação dos resultados comumente divulgados na mídia nacional, seria imprudente descartar uma reflexão acerca do desempenho dos alunos brasileiros em exames mundiais como o *Programme for International Student Assessment* (PISA), que pretende medir não somente o que os alunos sabem, mas o que eles conseguem fazer com o que sabem (OCDE³, 2015 apud BRASIL, 2016).

Ao se analisar as diretrizes da Educação Nacional, é possível encontrar no documento “Brasil no PISA 2015 – Análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros”, elaborado pelo Ministério da Educação, a afirmação de que “a compreensão de ciência e tecnologia é fundamental na formação de um jovem para a vida na sociedade moderna” (BRASIL, 2016, p. 36). Além disso,

Tornar-se letrado cientificamente envolve a ideia de que os propósitos da educação na ciência devem ser amplos e aplicados; portanto, o conceito de

³ FT Sampling Guidelines. OCDE 2015 Disponível em: <<https://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/PISA2015FT-SamplingGuidelines.pdf>>. Acesso em 24 fev. 2018.

letramento científico se refere tanto ao conhecimento da ciência como ao da tecnologia pautada na ciência. A ciência e a tecnologia diferem em seus propósitos, processos e produtos: enquanto a tecnologia visa soluções ótimas para problemas humanos, a ciência busca a resposta para questões específicas sobre o mundo natural. Contudo, ambas estão intimamente relacionadas (BRASIL, 2016, p.36).

No entanto, na avaliação do PISA de 2015, a nota média dos jovens Brasileiros em ciências foi de 401 pontos, o que é significativamente inferior às médias dos estudantes dos países da OCDE que foi de 493 pontos (BRASIL, 2016). Além disso, o desempenho dos estudantes brasileiros em ciências se manteve neste nível desde 2006 (BRASIL, 2016).

Outro dado importante destacado no documento Brasil no PISA 2015 – Análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros é que:

Pouco mais de 40% deles [estudantes brasileiros] atingiu pelo menos o nível 2 da escala, considerado pela OCDE como o nível básico de proficiência que possibilita a aprendizagem e a participação plena na vida social, econômica e cívica das sociedades modernas em um mundo globalizado (OCDE⁴, 2016 apud Brasil, 2016, p.268).

Quando se olha para o desempenho dos estudantes em matemática no PISA de 2015, temos uma situação similar. Para a OCDE⁴ (apud BRASIL, 2016, p.269), “um jovem letrado em matemática é capaz de formular, empregar e interpretar matemática numa variedade de contextos e não simplesmente atingir um mínimo de conhecimentos técnicos ou habilidades. Contudo, no PISA 2015, foram poucos os estudantes brasileiros que demonstraram atingir esse patamar.”.

Assegurada que não seja feita nenhuma análise superficial sobre o desempenho do país no PISA, é inegável a importância de se ter indicadores sobre a aprendizagem e futuro dos estudantes brasileiros. Ou seja, por mais que críticas contundentes possam e devam ser feitas aos testes de larga escala e exames mundiais, como educadores, não devemos desconsiderar o fato de que uma grande parcela dos alunos brasileiros não possui um grau de conhecimento desejável em ciências e matemática. Nesse sentido, se tomarmos como indicador a sala de aula real, é bastante provável que se encontre uma maioria de alunos que apresenta inúmeros problemas de aprendizagem em ciências e matemática e que não pensa em exercer alguma profissão nestas áreas (NETO, 2008).

Em meio a tais resultados, é preciso considerar fortemente a existência de uma relação entre a aprendizagem de matemática e a aprendizagem de física. Tal relação é

⁴ OCDE. **PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic and Financial Literacy**. Paris: OECD Publishing, 2015.

fundamental não apenas para o desenvolvimento e a compreensão do pensamento científico dos estudantes, como também é essencial para que se entenda o que guia a nossa investigação. Há um certo consenso entre os professores de física que os leva a crer que os estudantes possuem inúmeras dificuldades na aprendizagem de conceitos científicos por uma fragilidade nos conhecimentos matemáticos. É comum ouvirmos entre os professores “daqui para frente é só matemática e a solução completa disto vocês já aprenderam na outra disciplina” (PIETROCOLA, 2002, p.91).

Esta forma de enxergar a matemática como algo que precede a física é a atribuir um papel de descritor do real. Pietrocola (2002) afirma que existe uma necessidade de mudança de postura dos educadores da área para que adotem a matemática como uma linguagem que o cientista utiliza para estruturar o seu pensamento para aprender o mundo. Desta forma, o ensino de física nas escolas estaria pautado para que os estudantes adquiram a habilidade de compreender a matemática desta forma. Segundo Pietrocola (2002):

Assim, um dos atributos essenciais ao educador com relação a esta questão é perceber que não se trata apenas de saber matemática para poder operar as teorias Físicas que representam a realidade, mas de saber aprender teoricamente o real através de uma estruturação matemática (PIETROCOLA, 2002, p.106).

Mesmo que diversos problemas na educação básica brasileira tenham sido foco das políticas públicas na última década e que diversas iniciativas tenham sido realizadas para resolvê-los, como a ampliação do acesso à educação básica, o aumento da taxa de alfabetização, a expansão e democratização da educação superior através de programas como o Programa Universidade para todos (ProUni) e o de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), e outros (BRASIL, 2014a, 2014b), a aprendizagem de ciências e matemática segue bastante comprometida. Com isso, temos não apenas uma aprendizagem deficitária, que impede o desenvolvimento das máximas possibilidades dos estudantes, mas também temos prejudicada a real participação do cidadão dentro de uma sociedade moderna e globalizada.

Ainda que o Brasil, nos últimos anos, tenha conseguido aumentar o acesso à educação escolar, existem os mais variados problemas que continuam incógnitas para os pesquisadores em ensino de ciências. Uma das perguntas que sempre se apresenta no âmbito das pesquisas é como melhorar o processo de aprendizagem dos conceitos científicos. Uma área de pesquisa recente que pretende contribuir para o delineamento de respostas a questões desta natureza é a neurociência, com os seus estudos sobre o funcionamento do cérebro humano. Esta área possui diversas contribuições para a psicologia cognitiva e tem, na última década, revelado

um grande potencial para investigações acerca dos processos cognitivos mais relevantes para a educação, como a aprendizagem e memória (GIBBS JR., 2005).

Mas como os pesquisadores entendem a cognição? Diversos ramos da psicologia tradicional consideram a cognição como um processador de informações abstratas (AMIN; JEPPSSON; HAGLUND, 2015; WILSON, 2002). Isso significa dizer que o corpo funciona como um instrumento de percepção do mundo. Assim, é dada uma maior importância nos processos que ocorrem na mente do sujeito e pouca importância acerca da conexão com o ambiente, como argumenta Wilson (2002, p. 625, tradução nossa): “os sistemas perceptivos motores não eram considerados relevantes para a compreensão dos processos cognitivos ‘centrais’”.

Em contrapartida, existe um movimento crescente dentro da área da psicologia cognitiva que aloca um papel determinante ao corpo na formação e manutenção dos processos cognitivos. A teoria que surge deste movimento é chamada de **cognição incorporada** e argumenta que os processos cognitivos estão profundamente associados com as interações do corpo, o sistema motor e sensorial, com o mundo. Assim,

Não devemos considerar que a cognição seja puramente interna, simbólica, computacional e desincorporada, mas devemos buscar as formas rudimentares e detalhadas pelas quais a linguagem e pensamento são inextricavelmente moldadas pela ação incorporada (GIBBS JR., 2005, pag. 25, tradução nossa)

As implicações desta nova forma de considerar a natureza da cognição têm sido bastante exploradas em áreas como psicologia social e do desenvolvimento, linguística, interface cérebro-máquina, inteligência artificial, filosofia e até mesmo direito (GIBBS JR., 2005). Contudo, tanto na educação quanto no ensino de ciências, a cognição incorporada tem sido praticamente ignorada (com rara exceção da educação matemática).

Esta abordagem cognitiva inclui diferentes elementos como neurofisiologia, emoção e percepção do corpo em seus modelos de cognição. Assim, acreditamos que ela possa ser mais utilizada nas pesquisas em ensino de ciências pois parece ter um grande potencial para o tratamento de diferentes questões associadas ao processo de ensino e aprendizagem do conhecimento científico.

Outro elemento cognitivo que tem sido desconsiderado pela educação é o pensamento espacial. Este é definido como a forma que representamos e manipulamos mentalmente as formas e os caminhos presentes no ambiente. Para os pesquisadores do *National Research Council* dos Estados Unidos, o pensamento espacial é “uma combinação construtiva de habilidades cognitivas composta por conceitos de noção de espaço, o uso de ferramentas de

representação e aplicação a processos de raciocínio” (NRC, 2006, p.12, tradução nossa). Portanto, o cerne do pensamento espacial está na construção da noção do espaço.

Atualmente, diversas pesquisas com o uso de imagens por ressonância magnética funcional revelam que existe uma forte correlação entre pensamento espacial e matemática, processados principalmente no córtex parietal (AYDIN et al., 2007; DEHAENE, 2007; RIVERA et al., 2005). Além disso, para o ensino de ciências, diversas pesquisas apontam para o papel do pensamento espacial e aprendizagem de conteúdos científicos (NEWCOMBE; HUTTENLOCHER, 2003, 2006; UTTAL et al., 2013; WAI; LUBINSKI; BENBOW, 2009).

Apesar de reconhecida a sua importância, o pensamento espacial tem sido praticamente ignorado na educação, com exceção do ensino de geografia (CLEMENTS; SARAMA, 2011; WAI; LUBINSKI; BENBOW, 2009). Dificilmente encontramos abordagens que trabalham para o desenvolvimento desse tipo de pensamento. E tal fato fica bastante claro quando, ao se analisar os documentos oficiais que regem o ensino no país, como os Parâmetros Curriculares Nacionais dos anos iniciais do Ensino fundamental I (Ciências Naturais e Matemática) (BRASIL, 1997a, 1997b), percebe-se que o pensamento espacial não é sequer considerado como habilidade a ser desenvolvida ou aprimorada pelos estudantes.

Desta forma, este trabalho apresenta uma possibilidade de desenvolvimento de uma nova perspectiva para as pesquisas no ensino de ciências. A escolha em trabalhar com o pensamento espacial foi justamente por se tratar de uma característica essencial para a construção do conhecimento científico, como apontaremos no próximo capítulo. Assim, nesse cenário, buscamos uma integração entre a cognição incorporada e o desenvolvimento do pensamento espacial, visando compreender como é possível fazer uso desta abordagem para auxiliar na melhoria do processo de ensino e aprendizagem de ciências e matemática, resguardadas as relações entre as duas. Nesta investigação traremos discussões contemporâneas acerca dos temas aqui abordados e apresentaremos uma forma concreta de articulação entre a pesquisa e a escola, materializada em uma atividade que foi criada especialmente com o propósito de utilizar a cognição incorporada para o desenvolvimento do pensamento espacial.

Deste modo, o objetivo desta pesquisa é desenvolver, implementar e analisar uma atividade que permite investigar o papel da cognição incorporada no desenvolvimento do pensamento espacial. Buscamos com isso, contribuir para uma melhoria na aprendizagem de ciências e matemática e uma redução das diferenças nas habilidades espaciais entre os gêneros, encontradas na literatura da área.

No capítulo seguinte (Capítulo 2) apresentaremos algumas das principais discussões acerca do pensamento espacial e as suas relações com o pensamento científico, com

a matemática e com as habilidades espaciais. Discutiremos também as diferenças apontadas na literatura entre os gêneros quando tratamos do assunto de pensamento espacial. Além disso, neste mesmo capítulo, por meio de uma discussão acerca da natureza do espaço, alocaremos a nossa pesquisa dentro do campo da Física. No capítulo 3 apresentaremos uma discussão sobre a cognição incorporada e a sua relação com o pensamento espacial. Já no capítulo 4 descreveremos a atividade proposta e os dois estudos conduzidos com a finalidade de testá-la empiricamente. No capítulo 5 apresentaremos os resultados obtidos em dois estudos conduzidos nesta pesquisa, seguida de nossa interpretação. Além disso, faremos uma discussão acerca das limitações enfrentadas por este estudo. Por fim, no capítulo 6 faremos as nossas considerações finais.

CAPÍTULO 2 – PENSAMENTO ESPACIAL

Neste capítulo serão apresentados o conceito de pensamento espacial e evidências acerca de sua importância nas atividades científicas. Além disso, abordaremos a natureza do espaço para a física e a sua influência no pensamento atual sobre o tema. Por fim, apresentaremos as habilidades espaciais que consideraremos neste trabalho e as diferenças entre os gêneros no assunto apontadas na literatura.

2.1 Pensamento espacial: algumas definições

O pensamento espacial, livre tradução de “*Spatial Thinking*”, tem sido estudado por diferentes áreas do conhecimento e existe uma série de evidências que revelam sua importância para o pensamento científico e matemático. Entretanto, ao se analisar a literatura, constata-se que no âmbito das pesquisas na área de ensino de ciências e matemática o tema tem sido praticamente ignorado. Desta maneira, é necessário que se apresente esse conceito de forma mais aprofundada.

O que é o pensamento espacial? O *National Research Council* define o pensamento espacial como “uma combinação construtiva de habilidades cognitivas composta por conceitos de noção de espaço, o uso de ferramentas de representação e aplicação a processos de raciocínio” (NRC 2006, p.12, tradução nossa).

Neste processo de formação do pensamento espacial, o espaço fornece uma estrutura conceitual rica na qual o sujeito pode extrair e relacionar dados. Além disso, é por meio dele que extraímos contextos interpretativos essenciais que dão o significado a esses dados (NRC, 2006). Assim, conseguimos distinguir objetos no espaço, compreender as suas funções e fazer relações entre eles. Portanto, é a partir do espaço que iniciamos o nosso processo de interpretação do mundo (NRC, 2006).

As representações, que podem ser tanto internas (que são cognitivas, ou seja, “imagens mentais” que representam objetos do espaço), quanto externas (gráfica, linguística ou física, ou seja, mapas, tabelas, diagramas, etc.), permitem o armazenamento de informações estruturadas obtidas no espaço, análises destas informações e a compreensão e comunicação com os outros indivíduos. Desta forma, é a partir destas representações que podemos entender, raciocinar e comunicar sobre objetos e as relações entre eles no espaço (NRC 2006).

Quanto aos processos de raciocínio, considera-se que eles nos permitem manipular, interpretar e explicar informações estruturadas (NRC 2006). Nesta etapa do pensamento

espacial somos capazes de nos perguntar, por exemplo, [sobre um sistema de polias] “o que acontece se nós adicionarmos massa a uma parte de um sistema de polias, ou se removermos massa de outra parte, ou se a corda quebrar em um lugar específico?” (NRC 2006, p.28, tradução nossa).

Desta forma, o pensamento espacial está diretamente relacionado com processos de exploração e descobrimento do espaço e envolve uma gama de processos cognitivos. É por meio dele que somos capacitados a visualizar relações, rotacionar um objeto para analisarmos os seus outros lados, transformar escalas, dentre outras capacidades (NRC 2006).

O espaço, com três dimensões inseridas no tempo, é acessado por meio dos nossos sentidos e cada uma das modalidades sensoriais fornece uma base para o pensamento espacial. Desde que representada na nossa cognição as características deste espaço, podemos realizar transformações mentais que envolvem habilidades espaciais, como sabermos ou não se cabemos em determinado espaço apenas o observando (NRC, 2006).

É preciso ressaltar que na literatura há uma distinção entre o conceito de pensamento espacial e habilidades espaciais. Como referido anteriormente, o pensamento espacial é a conexão entre o espaço, representação e raciocínio. O processo de pensamento espacial engloba um grande conjunto de competências que podem ser aprendidas e ensinadas (NRC, 2006). As habilidades espaciais são consideradas como aptidões que uma pessoa possui para realizar mentalmente operações como rotação, visualização espacial, percepção espacial e assim por diante, sendo que o pensamento espacial se baseia em habilidades espaciais (NRC, 2006) que serão abordadas na seção 2.4. Ao considerá-los de maneira global, percebe-se que esses dois conceitos estão intimamente relacionados.

O pensamento espacial é comumente tratado como uma forma de se pensar visualmente. Este tipo de referência fica mais evidente quando se pensa em um objeto como uma cadeira. Nesta situação, tem-se uma “imagem” mental de um objeto com 4 partes semelhantes, um assento e um encosto. Ou seja, “visualizamos” o objeto referido. Esta visualização só é possível a partir de uma interação com o espaço por meio das percepções sensoriais. É justamente por permitir que se construa ideias por meio de imagens que o pensamento espacial parece ser tão importante para o pensamento científico e matemático, visto que nesses âmbitos, na maioria das vezes, a palavra parece carecer de sentido. Tal afirmação pode ser ilustrada em uma fala de Albert Einstein:

Palavras e linguagem, se faladas ou escritas, não parecem exercer nenhum papel no meu processo de pensamento. As entidades psicológicas que servem para construir blocos para o meu pensamento são certamente sinais e imagens,

mais ou menos claras, que eu posso reproduzir e recombina (DEHAENE, 1997, p.151, tradução nossa).

Esta imagem mental pode ser, na verdade, uma representação de propriedades de uma determinada entidade. No caso da cadeira, a entidade é o objeto e as propriedades são as características que o distinguem este dos demais. Nós construímos estas representações por meio de um processo denominado de codificação (DAVYDOV, 1990; NRC, 2006). Esse processo de codificação é caracterizado por uma busca por invariantes e padrões essenciais em entidades inseridas no espaço. A partir daí, é feita uma classificação destas entidades e, a seguir, a atribuição de um signo para esta classe nova de objetos (DAVYDOV, 1990; NRC, 2006). Assim, de maneira sumária, este processo ocorre da seguinte forma:

- (1) observamos um objeto e percebemos que ele é diferente dos demais objetos pelas suas formas e funções – esta fase envolve o reconhecimento de formas, texturas, tamanhos, cor e atributos;
- (2) observamos mais objetos que possuem formatos muito semelhantes e funções iguais ao objeto da fase 1;
- (3) agrupamos esses objetos em uma classe;
- (4) damos um signo para esta classe de objetos (DAVYDOV, 1990; NRC, 2006).

Este processo de codificação é uma parte importante para a formação das representações e parece ser fundamental na atividade científica (DAVYDOV, 1990). Por exemplo, um médico, em um exame de radiografia, deve ser capaz de distinguir um tumor de um tecido; ou um cientista deve ser capaz de imaginar uma imagem em três dimensões a partir de uma imagem em duas dimensões (NRC, 2006). Em suma, o pensamento espacial está intimamente conectado com a atividade científica, assim, abordaremos na próxima seção a relação entre esses dois tópicos.

2.2 O pensamento espacial e o pensamento científico

Além de ser essencial em tarefas cotidianas, como mover objetos dentro de casa, orientar-se com ajuda de um mapa, localizar-se em um supermercado ou até mesmo ler um manual de segurança (NEWCOMBE, 2010; NRC, 2006), o pensamento espacial parece desempenhar um papel fundamental tanto na atividade científica quanto na aprendizagem de ciências e matemática. Segundo Newcombe e Shipley (2015, p.2, tradução nossa) [As informações espaciais] “são representadas na cognição humana e podem ser transformadas mentalmente para ajudar na manipulação, construção e navegação no mundo físico, bem como para alcançar o sucesso em projetos acadêmicos e intelectuais”.

Nesta perspectiva, o sucesso na aprendizagem em ciências parece estar profundamente dependente do pensamento espacial, embora isso não queira dizer que a ciência só possa ser realizada graças ao pensamento espacial. Em muitas descobertas clássicas, por exemplo, pode-se perceber que os cientistas utilizaram o pensamento espacial em diversos momentos e diferentes processos científicos estão intimamente relacionados com este tipo de pensamento (NRC, 2006).

Um exemplo clássico do uso do pensamento espacial na atividade científica foi a descrição do modelo da estrutura do DNA feita pelo biólogo Watson e pelo físico Crick (PORTUGAL; COHEN, 1977). O modelo de dupla hélice proposto pelos autores é descrito pelo *National Research Council*:

A solução é a agora famosa dupla hélice, compreendendo duas cadeias de fosfato-açúcar entrelaçadas, complementares e deslocadas. As duas hélices direitas são enroladas em torno do mesmo eixo e são conectadas entre si por ligações das bases no interior das correntes. Os resíduos de açúcares são perpendiculares às bases anexadas. Watson e Crick assumiram um ângulo, 36 graus, entre os resíduos na corrente e isso levou a uma estrutura que se repete após 10 resíduos ou a 34 Å. Eles também especificaram uma distância, 10 Å, de um átomo de fósforo até o eixo da fibra (NRC, 2006, p. 1, tradução nossa).

O modelo descrito por Watson e Crick é compatível com os dados experimentais e possui uma natureza espacial explícita. É uma estrutura tridimensional com uma propriedade capaz de descrever como seus filamentos estão orientados no espaço. Além disso, eles especificaram que o “giro” do modelo está orientado no sentido horário (ou mão direita). Esta não é uma mera descrição estrutural, mas uma descrição estrutural que utiliza elementos do espaço (NRC, 2006).

Outra relação entre o pensamento espacial e a atividade científica notável na história da humanidade foi a compreensão da estrutura e evolução do Universo. Astrônomos, geógrafos e outros cientistas foram capazes de converter dados, como de energia, e que estão representados majoritariamente em formas gráficas, em informações que os permitiram fazer inferências sobre as estrelas e o cosmos. Assim, foram capazes de afirmar formato e tamanho da Terra de acordo com distâncias e ângulos e afirmar a estrutura espacial do sistema solar, bem como as distâncias entre os planetas, dentre outras contribuições. Para este tema, em específico, todas as teorias envolveram “(1) uma observação cuidadosa e sistemática do céu e (2) uma série de avanços intelectuais alcançados por alguns dos melhores pensadores espaciais na história da ciência” (NRC, 2006, p. 67, tradução nossa).

A participação do pensamento espacial na construção do pensamento científico parece ser bastante fácil de se perceber. Físicos pensam sobre movimentos de objetos pelo

espaço, biólogos descrevem com riquezas de detalhes processos que ocorrem no interior das células, químicos estruturam diferenças moleculares fundamentais a partir de sua orientação no espaço e matemáticos elaboram pensamentos sofisticados de entidades que habitam e se relacionam em diferentes espaços mentais. Assim, são inúmeras as situações nas quais as ciências demandam o pensamento espacial. Algumas delas são detalhadas pelo *National Research Council* no trecho abaixo:

Nós podemos aprender a ler eixos de pressão e temperatura em um diagrama de fases em física, entender as relações entre elementos no gráfico atômico em química, reconhecer formas particulares e localizações que são indicativos de tumor em uma ressonância magnética, entender as propriedades espaciais que são preservadas por uma projeção de mercator modificada em cartografia e visualizar as relações espaciais em três dimensões entre diferentes massas de ar e os tipos associados de frentes e meteorologia. Em cada caso nós podemos identificar um conjunto particular de conceitos espaciais que devem ser conhecidos e compreendidos [...] (NRC, p. 27, 2006, tradução nossa).

Em outras palavras, o processo de pensar espacialmente envolve “o entendimento do significado do espaço e o uso das propriedades do espaço como um veículo para estruturar problemas, encontrar respostas e expressar soluções” (NRC, 2006, p.3, tradução nossa).

Nesse sentido, ao se considerar a descrição do processo de se pensar espacialmente, é possível identificar uma certa similaridade com o processo de se pensar cientificamente. Não por acaso que na ciência foram criadas diversas representações espaciais, tais como diagramas, imagens, vídeos, gráficos e modelos para representar, descrever, explicar, relacionar os mais diferentes construtos científicos e os dados mais abstratos coletados em seus respectivos domínios (NRC, 2006).

De forma anedótica, são muitas as histórias de momentos criativos ou de resolução de problemas em química, física ou matemática relacionados diretamente a algum tipo do que é chamado na ciência cognitiva de pensamento visual (tradução livre de *Visual Thinking*). Pode-se citar como exemplo August Kekulé e o *insight* da descrição da estrutura da molécula de benzeno com seu “olho da mente” após “ver” uma cobra engolindo a própria cauda (OKASHA, 2002).

Entretanto, há muito pouco tempo se vem estudando de maneira sistemática o papel do pensamento espacial na aprendizagem de ciências e no fazer científico. O próprio cérebro de Albert Einstein foi investigado após sua morte revelando que seu córtex parietal, região cerebral associada ao pensamento espacial e matemático, tinha um tamanho surpreendentemente maior do que a maioria das pessoas e apresentava uma configuração estrutural pouco usual (WITELSON; KIGAR; HARVEY, 1999).

O pensamento espacial não parece estar presente apenas no fazer científico, mas também na aprendizagem de ciências. Utal e Cohen (2012) exemplificam o uso do pensamento espacial na seguinte situação de aprendizagem:

[...] muita atenção é voltada para a química no estudo e comportamento dos isômeros, que são combinados por composições moleculares idênticas, mas configurações espaciais diferentes. Uma propriedade importante e particular dos isômeros é a quiralidade. Uma molécula é quiral se sua imagem espelhada não puder ser sobreposta sobre si mesma através de rotação, translação ou escala. [...] Professores de química frequentemente usam uma analogia clássica para explicar quiralidade, a saber, a relação espacial entre as mãos esquerda e direita de uma pessoa. Embora elas compartilhem o mesmo conjunto de objetos (dedos e polegares) e o mesmo conjunto de relações entre esses objetos, não é possível sobrepor a mão esquerda na mão direita. Químicos e físicos adotaram esta metáfora incorporada, frequentemente referida como configurações de moléculas das “mãos esquerda e direita”. (UTAL; COHEN, 2012, p.4, tradução nossa).

A quiralidade é apenas mais um exemplo de um conceito essencialmente espacial. Mas por que o pensamento espacial está intimamente conectado com o fazer a aprender ciências? O *National Research Council* menciona:

Devido à natureza intrinsecamente espacial de suas [da astronomia, geociências e geografia] preocupações, eles estiveram na vanguarda do desenvolvimento e prática do pensamento espacial através do uso de metáforas de origem (por exemplo, mapas), técnicas analíticas (por exemplo, análise de tendência) e sistemas de representação (por exemplo, diagramas espectrais) (NRC, 2006, p.55-56, tradução nossa).

Talvez a evidência científica mais robusta sobre a relação entre o pensamento espacial e o pensamento científico tenha sido encontrada em um estudo longitudinal considerado como um dos mais importantes para a área. Este estudo, nomeado *Project Talent*, foi realizado nos Estados Unidos e acompanhou aproximadamente 400 mil pessoas enquanto elas estavam no ensino médio, no final dos anos 50, até 2009 (WAI; LUBINSKI; BENBOW, 2009). Os resultados encontrados indicam que 90% dos doutores em áreas relacionadas à STEM possuíam habilidades espaciais bem desenvolvidas na adolescência. Os mesmos resultados foram encontrados para os mestres e graduados em STEM, ou seja, os estudantes que possuem altas pontuações em testes espaciais no ensino médio tendem a seguir carreiras relacionadas a STEM, se comparado com os estudantes com baixas pontuações. Outro resultado importante deste estudo é o de que aqueles estudantes com altas pontuações em testes espaciais também tendem a ter altas pontuações em testes verbais e matemáticos.

Todos esses resultados nos revelam que a ciência surge a partir do momento em que possuímos a necessidade de compreender o espaço e as suas características para podermos

conviver em harmonia com o ambiente. Desta forma, o desenvolvimento do pensamento espacial possui uma grande importância no processo de ensino-aprendizagem escolar. Ressaltamos a necessidade de se considerá-lo no currículo escolar e nas práticas pedagógicas.

2.3 O pensamento espacial e a capacidade de se pensar usando números

Os números são definidos como “entidades abstratas que representam magnitudes numéricas que podem ser combinadas utilizando regras específicas” (PINHAS; POTHOS; TZELGOV, 2013, pág. 972, tradução nossa). Quando nos referimos a magnitudes, estamos nos referindo a algo palpável, ou seja, os números são representações daquilo que temos em nossa mente como um objeto (KRASA; SHUNKWILER, 2009).

Contrariando o senso comum, pesquisas em neurociências revelam que bebês de até 3 meses de idade são sensíveis às diferenças em quantidade numérica. Por meio da análise da atividade cerebral dos bebês, os pesquisadores mostraram que as eles têm a capacidade de perceber as diferenças na quantidade numérica. Mais que isso, parece haver uma continuidade no desenvolvimento do processamento numérico visto que bebês e adultos parecem usar regiões cerebrais similares para esse tipo de processamento (IZARD et al., 2009).

Já aos cinco anos de idade, as crianças conseguem comparar mentalmente diferenças na numerosidade, sugerindo, então, que elas possuem a capacidade de formar imagens ou representações dos números (KRASA; SHUNKWILER, 2009). Para os pesquisadores que trabalham em cognição matemática, principalmente aqueles que desenvolvem pesquisas na área de neurociências, o conceito de um número é essencialmente espacial, como se houvesse uma linha numérica mental (AYDIN et al., 2007; DEHAENE, 2007; RIVERA et al., 2005).

Esta da linha numérica mental seria organizada de forma crescente, como em uma régua. Desta maneira, conseguimos estabelecer relações de comparação entre as quantidades justamente comparando as localizações de cada quantidade nesta linha imaginária, como se cada valor fosse equivalente a uma distância.

Apesar da analogia com a régua, esta comparação que somos capazes de fazer não tem a ver com a posição dos números em si, mas com a forma na qual pensamos quantidades. Por exemplo, quando vemos uma figura com objetos iguais, se não os contarmos, não saberemos quantos objetos estão presentes na figura. Entretanto, ao analisarmos a Figura 1, é possível notar que, mesmo sem contar, facilmente identificamos que há mais flores na imagem da esquerda do que na da direita (KRASA; SHUNKWILER, 2009).

Figura 1. Sem contar, qual lado possui mais objetos?

Fonte: autoria própria.

A maneira com a qual pensamos quantidades e as manipulamos depende de como conseguimos acessar esta linha numérica mental e de como ela está estabelecida em nossa mente. Assim, quanto mais “precisa” a nossa linha, melhor conseguimos lidar com os números (KRASA; SHUNKWILER, 2009; LINK et al., 2013; PINHAS; POTHOS; TZELGOV, 2013).

Desta forma, diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de explorar atividades voltadas para o aprimoramento do pensamento espacial, dada sua vinculação direta com a matemática. Em especial, pesquisadores desenvolveram atividades para o aprimoramento desta linha numérica mental (KRASA; SHUNKWILER, 2009; LINK et al., 2013).

2.4 As habilidades espaciais

Ao aprofundarmos na definição e entendimento acerca do pensamento espacial, uma questão mais difícil de se responder é se existe mais de uma habilidade espacial. Infelizmente, esta ainda é uma pergunta sem resposta (UTTAL; COHEN, 2012). Entretanto, há um certo consenso sobre o que podemos considerar, ou não, como habilidade espacial (HEGARTY; WALLER⁵, 2005 apud UTTAL; COHEN, 2012).

Optamos por utilizar a definição de habilidades espaciais proposta por Uttal et al. (2013). Os autores sugerem que nós somos capazes de usar duas distinções fundamentais. A primeira é entre informações intrínsecas e extrínsecas sobre os objetos no espaço, sendo informação intrínseca o que pensamos ao definir um objeto, ou “as especificações das partes e a relação entre elas que define um objeto particular” (UTTAL et al., 2013, p. 353, tradução

⁵ HEGARTY, M.; WALLER, D. Individual differences in spatial abilities. In: SHAH, P.; MIYAKE, A. (Eds.) **The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking**. New York: Cambridge University Press, 2005. p. 121-167.

nossa), enquanto que a informação extrínseca está conectada com a relação entre os objetos no espaço.

A segunda distinção é entre tarefas dinâmicas e estáticas (UTTAL et al., 2013). Ao movimentarmos determinado objeto podemos modificar as suas especificações intrínsecas. Desta forma, “considerando as duas dimensões juntas (intrínseca vs. extrínseca, dinâmica vs. estática) temos como produto uma classificação 2x2 do pensamento espacial” (NRC, 2006, p.354, tradução nossa) como ilustrado na Figura 2:

Figura 2. Classificação 2x2 de habilidades espaciais e exemplos de cada processo espacial.

	Intrínseca (dos objetos)	Extrínseca (entre objetos)
Estática
Dinâmica

Fonte: Uttal et al. (2013, tradução nossa).

Optamos aqui por descrever duas habilidades, que serão utilizadas em nossa investigação, que de acordo com a classificação de Uttal et al. (2013) são intrínsecas e dinâmicas.

A primeira delas é a rotação mental. Nesta habilidade é requerido que o sujeito consiga visualizar e transformar formas e estruturas de duas ou três dimensões se movendo em orientações espaciais diferentes (UTTAL; COHEN, 2012), como exemplificado na Figura 3 que consiste em um item de um teste de mudança de orientação em 3 dimensões (rotação mental) (SHEPARD; METZLER, 1971).

Figura 3. Imagens utilizadas para tarefas de rotação mental.

Fonte: Shepard; Metzler (1971).

Esta habilidade de rotação mental, é essencial para diversas áreas do conhecimento, incluindo química, física, astronomia, arquitetura, dentre outras (KRASA; SHUNKWILER, 2009; UTTAL; COHEN, 2012).

A segunda é a mudança de perspectiva. Optamos pela definição de Hegarty e Waller que a considera como “a capacidade de imaginar o aparecimento de objetos em diferentes orientações (perspectivas) do observador” (HEGARTY; WALLER, 2004, p.176, tradução nossa). Esta habilidade está relacionada com mudança de orientação espacial uma vez que é requerido que o sujeito tome uma outra perspectiva. Os testes que medem esta capacidade geralmente requerem que o sujeito transponha uma certa configuração, de objetos por exemplo, para um outro ângulo, como no teste a seguir (Figura 4) proposto por Hegarty e Waller (2004).

Figura 4. Item de teste de orientação espacial.

Fonte: Hegarty; Waller (2004).

Esta habilidade é necessária quando, por exemplo, médicos planejam uma operação ou geólogos precisam mudar a perspectiva mentalmente de uma visão frontal para um corte transversal de algum material, dentre outras (NRC, 2006).

O *National Research Council* afirma que “manipulações de representações espaciais são as bases de inferência, predição e criatividade [...]. Transformar representações espaciais é fundamental para o raciocínio científico, para a compreensão de novas situações e para criar e testar novas ideias” (NRC, 2006, p. 44, tradução nossa), portanto esta é uma habilidade que está intimamente conectada com a aprendizagem de ciências.

Mas qual seria, então, a relação do pensamento espacial com as habilidades espaciais? De acordo com o *National Research Council*, a relação entre os dois é que “a experiência do pensamento espacial se baseia em habilidades espaciais gerais e habilidades

espaciais que são particulares para partes do domínio de um conhecimento” (NRC, 2006, p. 107, tradução nossa), ou seja, para pensarmos espacialmente precisamos de habilidades espaciais desenvolvidas.

Apresentamos até aqui o pensamento espacial e a sua importância no processo de ensino-aprendizagem escolar. Entretanto, uma pergunta necessária a se realizar é: o pensamento espacial pode ser aprendido e ensinado? De acordo com *National Research Council* a resposta é sim, ele pode e deve ser ensinado e aprendido em todos os níveis do sistema educacional (NRC, 2006).

O *National Research Council* ainda defende a ideia de que devemos investir em um programa educacional para o aprimoramento do pensamento espacial para “fomentar uma geração de estudantes que (1) possuam o hábito de pensar espacialmente, (2) possam praticar o pensamento espacial de forma esclarecida, e (3) adotam uma posição crítica para o pensamento espacial” (NRC, 2006, p. 3-4, tradução nossa).

Contudo, o que de fato ocorre na educação formal é que se deixa o desenvolvimento do pensamento espacial ao sabor das oportunidades que surgem ao acaso para a formação dos sujeitos. Entretanto, considerando a desigualdade social presente no Brasil e em diversos países, que acaba atingindo principalmente o acesso à saúde e alimentação e a motivação dos estudantes, esta acaba afetando diretamente o desenvolvimento destas habilidades (KERN; A. BERENBAUM, 1991). Desta forma, acreditamos que o pensamento espacial possa ser abordado nas escolas e que a cognição incorporada pode ser uma boa ferramenta para o desenvolvimento destas habilidades, portanto, abordaremos este assunto no capítulo seguinte.

2.5 As diferenças entre os gêneros

Como dito anteriormente, as habilidades espaciais desempenham um papel bastante importante na relação com o ambiente no qual estamos inseridos, além de estarem diretamente relacionadas com o pensamento científico e com a escolha por carreiras em STEM. Entretanto, historicamente, estas carreiras sempre foram vistas como atividades realizadas por homens (LETA, 2003) e as mulheres são relativamente menos representadas nestas profissões (HOFFMAN; GNEEZY; LIST, 2011). Um relatório elaborado nos anos 2000 pela Comissão sobre o avanço da mulher e minorias em ciência, engenharia e tecnologia nos Estados Unidos aponta que há uma ascensão de mulheres na área, ainda que, na época, as mulheres representavam apenas 19% dos trabalhadores em STEM (WOMEN; SCIENCE; DEVELOPMENT, 2000).

No Brasil, este quadro é similar. Na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), por exemplo, há uma crescente participação das mulheres em cursos de graduação tradicionalmente cursados por homens, como Química, Engenharia Civil e Engenharia Química (LETA, 2003). Além disso, o número de docentes mulheres na Universidade de São Paulo também vem crescendo, assim como número de mulheres bolsistas do CNPQ e o número de mulheres alunas de grandes Universidades (LETA, 2003). No entanto, apesar deste número crescente,

[...] as mulheres têm chances menores de sucesso e ascensão na carreira: são menos contempladas com bolsas de produtividade do CNPq, estão sub-representadas nos cargos administrativos da UFRJ e entre os acadêmicos da Academia Brasileira de Ciências (LETA, 2003, p. 271).

Ou seja, os dados revelam que as chances de crescimento, reconhecimento e sucesso da mulher nas ciências são reduzidas (LETA, 2003). Há dois fatores que são frequentemente atribuídos como as causas para este problema: o primeiro considera que existem diferenças biológicas, cognitivas ou de socialização entre os gêneros e o segundo que as estruturas das organizações acadêmicas e científicas não propiciam espaços para tal, criando uma segregação hierárquica (LETA, 2003; SOARES, 2001).

Para os argumentos acerca de diferenças em questões biológicas, um estudo realizado no Reino Unido analisou, através de ressonância magnética cerca de 5000 cérebros, sendo 2750 mulheres e 2466 homens com idades entre 44 e 77 anos. Os pesquisadores analisaram 68 áreas do cérebro de cada sujeito e indicaram o volume, espessuras e conexões entre as áreas. Os resultados indicam que existem muito mais semelhanças entre os cérebros do que diferenças. Os cérebros dos homens apresentaram um volume ligeiramente maior do que o das mulheres, apesar de apresentarem muito mais variáveis. Já as mulheres apresentaram uma espessura cortical maior se comparando indivíduos da mesma idade (RITCHIE et al., 2017).

Os resultados apontados por esta investigação não concluem que os homens possuem vantagens biológicas se comparados com mulheres. Se retirarmos aleatoriamente uma das imagens de ressonância magnética da investigação, seria praticamente impossível afirmar se a ressonância pertence à uma mulher ou a um homem. Além disso, as diferenças encontradas não refletem diferenças comportamentais ou cognitivas como inteligência (RITCHIE et al., 2017).

A segunda questão, que aborda a hierarquia social, possui raízes históricas. A mulher historicamente foi representada pelos homens. De acordo com Colling (2004):

A história das mulheres é uma história recente, porque desde que a História existe como disciplina científica, ou seja, desde o século XIX, o seu lugar dependeu das representações dos homens, que foram, por muito tempo, os únicos historiadores. Estes escreveram a história dos homens, apresentada como universal, e a história das mulheres desenvolveu-se à sua margem. Ao descreverem as mulheres, serem seus porta-vozes, os historiadores ocultaram-nas como sujeitos, tornaram-nas invisíveis (COLLING, 2004, p.13).

Além disso, o papel social da mulher na sociedade foi considerado por muito tempo (e ainda é em uma menor proporção) como o de mãe, esposa delicada e do lar. Fora destes papéis a mulher foi considerada perigosa para a ordem pública e, desta forma, os lugares onde se centraliza o poder, como os espaços públicos, intelectuais e a política, eram considerados majoritariamente espaços para o homem (COLLING, 2004).

Essa hierarquia social acaba refletindo, nos dias de hoje, na participação da mulher na sociedade. Como mencionado, as chances de reconhecimento das mulheres são reduzidas pois os grandes espaços de poder são compostos por homens. Essa relação, no mundo feminino, tem início nos primeiros anos de vida. Resultados de pesquisas encontraram diferenças nas habilidades espaciais entre os gêneros que favorece crianças do gênero masculino. Entretanto, esta diferença desaparece significativamente quando se treina habilidades espaciais oferecendo as mesmas oportunidades de desenvolvimento para ambos os gêneros (HOFFMAN; GNEEZY; LIST, 2011; TZURIEL; EGOZI, 2010; YANG; CHEN, 2010).

Na investigação realizada por Tzuriel e Egozi (2010) foram analisadas 116 crianças de primeiro ano, sendo a idade média entre os estudantes de 6 anos e 7 meses. Elas foram divididas em dois grupos, o de controle e o experimental, sendo que cada grupo tinha o mesmo número de meninos e meninas. O grupo experimental realizou uma atividade (1 vez por semana, durante oito semanas) na qual foi apresentado um cartão com algumas peças, como um tangram com as peças ainda unidas, e as crianças tinham que sugerir a imagem espacial que as peças do cartão formariam, incentivando a representação e transformação de informação espacial. Ao grupo controle eram apresentados os mesmos cartões, entretanto eles deveriam apenas desenhar com a maior acurácia possível as peças contidas no cartão sem realizar quaisquer transformações.

Ambos os grupos foram submetidos a alguns pré-testes e pós-testes de habilidades espaciais, incluindo rotação mental. Os resultados indicaram que o grupo experimental teve uma melhora significativa na habilidade de rotação mental se comparado com o grupo controle. Além disso, as meninas do grupo experimental tiveram um ganho significativamente maior do que os meninos, resultando em uma equiparação no pós-teste. O mesmo não ocorreu com o grupo controle (TZURIEL; EGOZI, 2010).

Com isso, por meio desses resultados gostaríamos de ressaltar que as diferenças entre gêneros em habilidades espaciais existem e possuem raízes históricas, entretanto, é possível reverter este quadro dando as mesmas oportunidades de desenvolvimento destas habilidades para indivíduos de ambos os gêneros.

2.6 A natureza do espaço para a Física e para o pensamento humano

Temos plena consciência de que, ao longo da história, foram muitos os filósofos e cientistas que colaboraram para a construção do conhecimento acerca do que entendemos por espaço na atualidade. Existe uma complexidade na história que é impossível de ser resumida, considerando-se que não se trata de um processo simples e tampouco curto. Entretanto, foge do escopo desta dissertação nos aprofundarmos nos detalhes da história da ciência. Assim, o nosso objetivo nesta seção é apresentar algumas das ideias que contribuíram para a concepção que temos sobre o espaço na atualidade e que situam nosso trabalho dentro da área de Ensino de Física.

A visão contemporânea e abstrata que possuímos acerca do espaço é um resultado de um longo processo que teve início na mente do homem primitivo. Este tinha como ideia de espaço aquele comum ao grupo ou à família, ou seja, um conjunto de orientações concretas nas quais ele, por um acaso, habita (JAMMER, 2010). Essas ideias foram sendo questionadas ao longo do tempo, mas apenas na filosofia grega que o espaço aparece como um objeto de investigação. De acordo com Aristóteles, os pitagóricos consideravam que os números possuíam uma certa espacialidade e, apesar de considerarem que o espaço não possui significação física, atua como um agente delimitando corpos diferentes (JAMMER, 2010).

Este conceito do espaço pitagórico deu início a um processo de abstração do conceito do espaço. Há indícios de que os pitagóricos consideravam o ar como um vazio. Portanto, Árquitas o pitagórico, por exemplo, diferenciou os conceitos de espaço, lugar e vazio. Assim, “[...] espaço não é uma extensão pura, desprovida de qualidades ou força, mas uma espécie de atmosfera primordial, dotada de pressão e tensão, limitada pelo vazio infinito” (JAMMER, 2010, p.34).

Outros filósofos gregos da antiguidade fizeram questionamentos e apontamentos importantes sobre a natureza do espaço, que foram igualmente importantes para as discussões sobre as concepções de espaço. No atomismo de Demócrito e Leucipo, por exemplo, a matéria é finitamente divisível, assim, o Universo é formado por apenas átomos e o vazio. Desta forma, o vazio é uma consequência da estrutura do átomo. Em outras palavras, matéria e espaço são

excludentes. Estes átomos estão em constantes colisões, assim, estão em movimento em um espaço infinito (JAMMER, 2010).

As ideias de Demócrito e Leucipo se opõem às ideias de Parmênides e Melisso que consideravam o Universo como contínuo e imutável. Para eles o vazio é o nada e, se é nada, não pode existir. Assim, tinham a ideia de vazio como espaço não ocupado. Desta forma, para estes filósofos, o Universo era composto pelo cheio e pelo vazio (JAMMER, 2010).

Platão foi o primeiro a definir as estruturas espaciais dos elementos água, ar, fogo e terra, definindo uma geometria ao espaço:

A terra, na visão de Platão, por sua forma cúbica, era a menos móvel dos quatro, pois suas bases eram mais estáveis. Era natural, portanto, que esse elemento estivesse no centro do Universo; como um núcleo, ele se inseria nas camadas formadas pelos outros elementos do espaço, ordenados conforme a sua mobilidade crescente. [...] A matéria é reduzida ao espaço, a física é reduzida à geometria (JAMMER, 2010, p.39).

As ideias de Platão sobre a geometrização do espaço não fizeram com que o conceito de espaço se tornasse um objeto de pesquisas matemáticas mais rigorosas, pois os matemáticos gregos continuaram a desconsiderar a geometria do espaço (JAMMER, 2010). Jammer (2010) cita como causa a linguagem obscura e vaga da obra *Timeu*, um dos diálogos de Platão na qual ele apresenta especulações sobre o mundo físico.

O espaço para a filosofia e ciência gregas clássicas foi entendido como não homogêneo e anisotrópico. As matemáticas da época não lidaram com o espaço como um objeto de investigação científica e, talvez, essa tenha sido a razão pela qual a geometria grega tenha ficado restrita ao plano. Aristóteles, por exemplo, concebeu o espaço como “a fronteira adjacente do corpo continente” (JAMMER, 2010, p. 49), portanto, por definição, possui um caráter bidimensional.

Não só os filósofos e cientistas gregos contribuíram para as formulações espaciais. Em particular para a mecânica, a teologia teve um papel fundamental para a construção de teorias sobre o espaço. Newton, por exemplo, considerou o espaço absoluto como o sensório de Deus. As influências religiosas para o conceito de espaço se iniciaram no século I d.C. levaram à afirmação de que o espaço é idêntico ou é um atributo de Deus (JAMMER, 2010).

Ainda na filosofia grega, Aristóteles concebe o lugar “como a parte do espaço cujos limites coincidem com os do corpo que o ocupa” (DUHEM⁶, 1913 apud JAMMER, 2010, p.

⁶ DUHEM, P. **Le système du monde: histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic**. Paris: Hermann, 1913. p. 197.

40). Aspectos religiosos acerca do espaço começam a ser considerados apenas nas concepções judaico-cristãs sobre o espaço. No judaísmo palestino do século I d.C., por exemplo, o lugar é considerado um dos nomes de Deus surgindo, desta forma, uma ligação entre o espaço e Deus (JAMMER, 2010).

Outra concepção histórica e religiosa do espaço que influenciou a discussão de sua natureza para a física foi a sua identificação com a luz que, desde os tempos pré-históricos, simboliza forças sobrenaturais. A luz, nesse sentido, molda os corpos e por este motivo é concebida como espaço (JAMMER, 2010). Na bíblia, por exemplo, a luz é tida como o meio pelo qual Deus se torna visível para o homem. Jammer (2010) destaca o autor desconhecido da obra *Liber de intelligentiis* como uma figura importante que teve interesse nesta concepção e a trouxe para a óptica e matemática. Para este autor:

A natureza do espaço caracterizava-se por duas funções: conter (o *periechein* de Aristóteles) e conservar – “*continere*” e “*conservare*”. A luz, fonte de toda a existência, poder que tudo impregnava, aquilo que ocupava a posição mais elevada na hierarquia do Ser, somente a luz atendia a essas condições. Portanto espaço e luz eram uma coisa só (JAMMER, 2010, p.64).

Um viés religioso também marcou as teorias do filósofo Henry More, um estudioso rabínico. Com base em estudos cabalísticos, Henry propôs a existência de substâncias incorpóreas e, além disso, suas cartas trocadas com Descartes apontam que ele tinha forte oposição ao atomismo grego e à identificação cartesiana entre espaço e matéria. Para Henry, ambos levavam ao materialismo e ateísmo. Assim, para refutar as teorias, ele propôs “a existência de um ser espiritual que permearia a natureza e a agiria sobre ela” (JAMMER, 2010, p.66). O estudioso exerceu enorme influência em outros filósofos, como Newton em seus escritos sobre o conceito de espaço absoluto (JAMMER, 2010).

A teoria relacional de Leibniz sobre o espaço também possui grande influência religiosa. Leibniz rejeitou a teoria de Newton sobre o espaço absoluto com o argumento de que o espaço é uma rede de relações entre coisas coexistentes. Vale ressaltar que, ainda no século XI, uma teoria semelhante já havia sido proposta pelo filósofo mulçumano Al-Ghazali, uma evidência de que a teoria de Leibniz sobre o espaço possui uma certa extensão religiosa (JAMMER, 2010).

As contribuições religiosas foram fundamentais para a expansão do conceito de espaço para a física, entretanto, é no aristotelismo que ela se expande expressivamente por meio de diversos questionamentos entre seus seguidores e opositores. Para Aristóteles o vácuo é impossível, pois o espaço é “a fronteira adjacente do corpo que serve de continente” (JAMMER,

2010, p.83). Esta teoria é válida apenas quando consideramos o corpo continente imóvel, por exemplo: “se segurarmos uma pedra em uma corrente de água, o envoltório de água em constante mudança claramente não será o ‘lugar’ da pedra; caso contrário, a pedra imóvel mudaria de lugar continuamente, o que seria uma contradição” (JAMMER, 2010, p. 84).

A revisão do conceito de espaço realizada por Filopono apontou, então, incoerência na teoria espacial aristotélica. Se para Aristóteles o lugar do mundo material sublunar é a órbita da lua, Filopono indagou que esta estaria em movimento e, portanto, não era imóvel. Assim, ele propôs que a teoria de Aristóteles para o conceito de lugar deveria ser rejeitada e que seria necessária uma nova definição de lugar ou espaço. A natureza dessa nova definição deveria ser compreendida em um volume incorpóreo tridimensional, identificando o espaço com um vazio (JAMMER, 2010).

Em um tratado de Damáscio encontra-se uma investigação mais aprofundada da natureza do espaço. Neste tratado, Damáscio aborda como termos primordiais “posição” ou “localização” como atributos inseparáveis do objeto e não espaço ou lugar, em contraste com o pensamento grego. Assim, para ele, o espaço é a medida geométrica da posição. Essa ideia acerca da posição possui dois sentidos, o primeiro que denota uma localização relativa das diferentes partes do objeto e a segunda que denota a posição do todo no Universo. Assim, provavelmente, esta foi a primeira vez que alguém se referiu às ideias modernas dos três graus de liberdade de um corpo complexo visto como um todo, em oposição aos seus graus de liberdade internos (JAMMER, 2010).

Os árabes também se familiarizaram com o pensamento grego e sírio acerca do espaço e se opuseram à algumas das ideias Aristotélicas. A doutrina atomística do espaço de *Kalam* apresentou ideias bastante complexas e abstratas. Ao enaltecer a importância do ato criador divino, considerou uma existência transitória para a matéria com um alcance e existência extremamente curtos. Para os seguidores da *Kalam*, em oposição às teorias propostas por Aristóteles, tudo no Universo é composto por átomos e acidentes, assim, tanto o espaço, quanto a matéria possuem uma estrutura atomística. Os átomos aqui são considerados como partículas indivisíveis, iguais entre si e desprovidas de extensão. Embora os átomos possuam alguma posição, eles não ocupam lugar no espaço. Apenas a combinação de átomos que forma um corpo que, este sim, possui uma magnitude espacial. Além disso, o conjunto das posições de cada átomo forma uma extensão espacial (JAMMER, 2010).

As principais ideias aristotélicas que tiveram alguma dificuldade conceitual foram extensamente discutidas por diversos pensadores que enfrentaram uma certa dificuldade devido ao fato do pensamento aristotélico exercer uma grande influência. A ideia de lugar definida por

Aristóteles, por exemplo, considerava-o como imóvel. Assim, um prego contido na superfície de um navio, por exemplo, não se move por si próprio, mas por “acidente”, sem mudar de lugar (JAMMER, 2010). A partir daí surge um dos grandes problemas da física medieval:

Se o espaço é a superfície côncava do corpo continente e se o movimento é a mudança no espaço, como pode o conceito de “movimento por acidente” conciliar-se com essas definições? Considerando o problema em termos modernos, fica claro que Aristóteles tinha plena consciência de que o movimento só podia ser inferido em relação a um segundo corpo, isto é, pela escolha de um corpo circundante imediato como sistema de referência. (JAMMER, 2010, p.100).

Aristóteles considerou o modelo do Universo perfeito com esferas fixas concêntricas e finitas, assim, para explicar o movimento das órbitas dos astros, cada uma das esferas era composta por éter e tinha um movimento ao redor da esfera central, que seria a Terra. A partir daí surge o segundo problema conceitual de Aristóteles: A esfera mais externa não possuía lugar, pois não estava contida em nenhuma outra esfera (JAMMER, 2010).

Esses dois problemas conceituais apresentados pelas teorias de Aristóteles geraram inúmeras discussões até Copérnico concluir que o conceito de lugar deveria ser modificado ou o movimento da esfera mais externa deveria ser rejeitado. A partir disso, inúmeros filósofos propuseram diversas teorias acerca do espaço, discutindo questões como a existência ou não de espaço vazio e o vácuo, homogeneidade, espaço finito ou infinito, o papel de Deus, dentre outras questões (JAMMER, 2010). Uma das teorias que vale ser ressaltada aqui por ter influenciado diretamente Newton em suas ideias acerca do espaço absoluto foi a teoria do italiano Pierre Gassendi:

Pierre Gassendi, que apresentou seus contemporâneos às mais antigas fontes do atomismo, foi obrigado a enfrentar o problema do espaço vazio. Como proponente de um atomismo revisado, precisou defender a realidade do vácuo, o qual, em sua concepção, tornou-se idêntico ao espaço. Embora o espaço e o tempo parecessem ser “nada”, se medidos pela escala da realidade corpórea concreta, eles tinham uma existência real como precondições da cinemática ou da física em geral (JAMMER, 2010, p. 122)

Gassendi acreditava que os átomos foram criados por Deus. Entretanto, o espaço possuía uma certa independência, pois este não foi considerado por Gassendi criado por Deus. Basicamente, o espaço era algo incorpóreo de 3 dimensões e com uma independência de qualquer substância. O estudioso ainda definiu o espaço como infinito podendo ser ocupado pelos corpos, enquanto que a extensão corporal é finita e impenetrável (JAMMER, 2010). Como referido anteriormente, Newton incorporou algumas das ideias de Gassendi para a

formulação de suas ideias acerca do conceito de espaço absoluto, que veio a se tornar a base da física clássica (JAMMER, 2010).

Newton possuía uma certa visão realista da matemática. Para ele, a matemática, em especial a geometria, caracteriza-se por ser um ramo especial da mecânica e não um sistema hipotético de proposições que podem ser dedutíveis logicamente de axiomas e definições. Essa visão da matemática para Newton exerceu uma grande influência em suas ideias acerca do espaço absoluto pois “sugere que os conceitos fundamentais subjacentes à estrutura do sistema newtoniano não são nem hipotéticos nem irrealis nem justificados *ex post* pela verificação experimental posterior.” (JAMMER, 2010, p.132). Assim, para Newton:

Não defino tempo, espaço lugar e movimento pois são bem conhecidos de todos. Devo apenas observar que as pessoas comuns não concebem essas quantidades com base em nenhuma outra ideia senão a relação que elas têm com os objetos sensíveis. Daí surgem certos preconceitos. Para eliminá-los, será conveniente distingui-las em absolutas e relativas, reais e aparentes, matemáticas e comuns [...].

O espaço absoluto, em sua própria natureza sem relação com qualquer coisa externa, mantém-se sempre semelhante e imóvel. O espaço relativo é certa medida ou dimensão móvel dos espaços absolutos, que nossos sentidos determinam por sua posição em relação aos corpos, e que é comumente tomado pelo espaço imóvel; assim, a dimensão de um espaço subterrâneo, aéreo ou celeste é determinada por sua posição em respeito à Terra. O espaço absoluto e o relativo são iguais na forma e na grandeza, mas nem sempre se mantêm numericamente os mesmos. Se a Terra se move, por exemplo, um espaço do nosso ar, que em relação e com respeito à Terra mantém-se sempre o mesmo, em um momento será parte do espaço absoluto pelo qual o ar passa e em outro momento será outra parte desse mesmo espaço, de modo que, em termos absolutos, estará mudando continuamente. (NEWTON⁷, 1687 apud JAMMER, 2010, p. 135).

Para a definição de lugar, Newton considerou que, como as partes do espaço não são acessíveis aos nossos sentidos, nós utilizamos medidas sensíveis destas partes. Assim, pelas medidas de posição e distância das coisas em relação a algum objeto considerado imóvel conseguimos definir o lugar e, a partir disso, conseguimos estimar os movimentos.

A teoria de Newton sobre o espaço sofreu muitas críticas de diversos estudiosos, entretanto, essas não impediram de que a teoria fosse amplamente aceita. Mais tarde, ideias modernas acerca do espaço foram sendo discutidas até chegarem ao conceito de espaço da ciência moderna que o qualifica como isotrópico, homogêneo, finito ou infinito ou até um sistema de relações. Apesar de sua importância não pretendemos discuti-los aqui, pois a ideia principal que gostaríamos de deixar clara nesta seção é a de que as qualidades do espaço foram

⁷ NEWTON, I. **Principles**. Londres: [s.n.], 1687. p. 511.

se tornando abstratas e inacessíveis às nossas percepções sensoriais na medida em que o conceito de espaço foi avançando:

Sem dúvida, a mensuração acabou por levar à generalização e, em última instância, ao pensamento abstrato. Ignorando a cor, forma e a textura do objeto a ser medido, o pensamento humano começou a se concentrar, por abstração, na ideia de extensão pura e do espaço sem qualidades. (JAMMER, 2010, p.32)

Desta forma, considerando a nossa forma de pensar o espaço, um dos objetivos deste trabalho é resgatar esta sensibilidade pelo espaço a partir do desenvolvimento ou aprimoramento de habilidades espaciais por meio da cognição incorporada, que é o tema abordado no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3 – A COGNIÇÃO INCORPORADA

Neste capítulo serão apresentados o conceito da cognição incorporada e um panorama das pesquisas que envolvem a cognição incorporada e o pensamento espacial na área de ensino de ciências e matemática. Além disso, abordaremos as principais ideias que tornam a cognição incorporada uma ferramenta para o aprimoramento de habilidades espaciais e matemáticas juntamente com os trabalhos encontrados na revisão da literatura que possuem alguma relação com a investigação que realizamos.

3.1 O que é cognição incorporada?

Até os anos 80 a maior parte das pesquisas em ciência cognitiva assumia que o sistema sensorio-motor possui um papel periférico de entrada e saída de informações. Esse sistema era capaz de transmitir informações para/ou de um processador cognitivo central, o cérebro, onde ocorre um pensamento abstrato e de nível superior (AMIN; JEPPSSON; HAGLUND, 2015; WILSON, 2002).

O grande problema em se considerar o sistema sensorio-motor como um instrumento de entrada e saída de informações é ignorar “as especificidades da fisiologia humana e a interação entre a pessoa e o mundo material e social em que ele pensa e age” (AMIN; JEPPSSON; HAGLUND, 2015, p. 745, tradução nossa). Assim, a partir dos anos 80, surgiram abordagens que consideram que os modelos de cognição devem atender às características dos cérebros e corpos e os contextos nas quais o pensamento está inserido, adotando, desta forma, o pressuposto de que a cognição é incorporada (AMIN; JEPPSSON; HAGLUND, 2015).

As teorias sobre cognição incorporada se propõem a explicar a origem da representação do conhecimento conceitual, bem como os processos cognitivos, de forma enraizada no corpo humano e em suas ações com o ambiente (DESUTTER; STIEFF, 2017). DeSutter e Stieff (2017) consideram que a cognição, memória e representações de conceitos possuem traços de impressões sensorio-motoras de ações e percepções no ambiente físico.

Mas o que é a cognição incorporada? Embora não seja uma teoria tão recente, ainda não existe um consenso sobre o que de fato seria o significado de “incorporação” (DESUTTER; STIEFF, 2017). Apesar disso, a ideia central de cognição incorporada é de que a cognição não ocorre apenas em um sistema central, mas também nos sistemas perceptivo e motor (ADAM, 2010). O corpo possui um papel fundamental na aprendizagem e as bases para este argumento

são de dados de laboratórios de psicologia (ADAM, 2010). DeSutter e Stieff (2017) consideram que:

Em um sentido amplo, a incorporação é caracterizada por uma suposição compartilhada de que o corpo, sua forma particular e as suas capacidades sensoriais fornecem um sistema cognitivo com um rico fluxo de entrada que forma a representação do conhecimento e posterior processamento cognitivo destas representações (DESUTTER; STIEFF, 2017, p.4, tradução nossa).

Desta forma, como o nosso sistema sensório-motor está em constante interação com o ambiente, há uma influência direta deste no processo cognitivo (AIZAWA, 2014). Aizawa (2014) explicita esta relação:

As crianças criadas em torno de falantes de inglês aprendem a entender o inglês, enquanto as crianças criadas em torno de falantes de alemão geralmente aprendem a entender o alemão. Os contadores que usam calculadoras normalmente saberão que as contas são equilibradas mais rapidamente do que aquelas que usam lápis e papel. [...] Em vez de relações de dependência causais entre processos cognitivos e processos ambientais, a cognição incorporada postula uma dependência constitutiva entre processos cognitivos e processos no cérebro, corpo e meio ambiente. Os processos cognitivos são realizados, não apenas no cérebro, mas também no corpo e no mundo (AIZAWA, 2014, p.31, tradução nossa).

Uma área que exerceu enorme influência para esta teoria cognitiva foi a fenomenologia, iniciada no século XX por Edmund Husserl. Em seus trabalhos pode-se encontrar análises sobre aspectos incorporados de percepção e cognição. Gallagher (2014) faz a seguinte análise sobre o trabalho de Husserl:

Husserl escreve sobre o papel da cinestesia (senso de movimento) em percepção. Por exemplo, uma vez que os processos motores extraoculares nos ajudam a controlar para onde olhamos, o feedback cinestésico desse movimento está correlacionado com a percepção no campo visual. Os processos extraoculares, no entanto, são incorporados em um sistema motor que controla o movimento da cabeça e a postura geral do corpo. Consequentemente, os padrões cinestésicos são geralmente mais ativados em correlação com a percepção visual. Mais do que isso, os objetos visuais ativam o sistema cinestésico de tal forma que as posições e formas dos objetos estão "configuradas" com potenciais movimentos corporais (GALLAGHER, 2014, p. 9, tradução nossa).

A fenomenologia aponta diversos aspectos das nossas experiências que demonstram a natureza incorporada da cognição. Os fenomenologistas acreditam haver uma sensação de "identidade individual" ou de "possessividade" incorporada em cada experiência que é chamada, frequentemente, de senso de propriedade. Este não significa a propriedade de possuir algo, mas a propriedade da experiência, como definido por Gallagher (2014):

[...] significa a "propriedade" intrínseca ou a minúscula da experiência, um aspecto da experiência que a faz subjetivamente minha experiência. Assim, como tal, não é apenas em relação às experiências do meu corpo ou das partes do meu corpo, por exemplo, quando eu alcanço e seguro algo, a sensação de que é o meu braço que está chegando e a mão que está segurando, mas também em relação às minhas experiências de auto movimento e ação - Assim não apenas pelo meu braço, mas também pela minha ação (GALLAGHER, 2014, p. 13, tradução nossa).

Estudos sobre semântica também tiveram enormes contribuições para a teoria. Uma pesquisa realizada Tucker e Ellis⁸ (1998 apud DESUTTER; STIEFF, 2017) sugere que o significado e a representação do conhecimento envolvem certa simulação sensorio-motora. Esta pesquisa aponta que indivíduos conseguem reconhecer mais rápido um objeto doméstico, como um martelo ou uma frigideira, se é apresentado um estímulo (que pode ser uma imagem, por exemplo) com uma orientação consistente com a forma como o ser humano pegaria este objeto para realizar a ação.

Diversos experimentos vêm sendo conduzidos por psicólogos em todo o mundo a fim de entender melhor a relação entre cognição e ação. Outros resultados experimentais que contribuíram fortemente com a teoria revelam que a cognição é influenciada por estados corporais (ADAM; GALINSKY, 2012; EERLAND; GUADALUPE; ZWAAN, 2011) e que processos cognitivos abstratos também estão fundamentados nos estados corporais (LAKOFF; JOHNSON, 2008; MILES; NIND; MACRAE, 2010). Estes e outros resultados de pesquisas sobre cognição incorporada revelaram que a cognição e o comportamento motor e sensorial estão intimamente ligados.

Também se tem dado certa atenção aos gestos como evidência de que o corpo está envolvido no pensamento e fala. O uso dos gestos pode ser considerado uma simulação de ação e estados de percepção que é experimentada por aquele que gesticula, pois resultados de pesquisa em neurociência apontam que essas simulações ativam áreas do córtex motor responsáveis pela criação de movimento (ALIBALI; NATHAN, 2012; ANTLE, 2013). Alibali e Nathan (2012) ainda argumentam que a cognição matemática também é incorporada em dois sentidos: “é baseada em percepção e ação e é fundamentada no ambiente físico” (ALIBALI; NATHAN, 2012, p.247, tradução nossa).

Entretanto, ao tratarmos de cognição incorporada é importante termos certa cautela. Wilson (2002) avalia 6 afirmações que geralmente são atribuídas à teoria:

⁸ TUCKER, M., ELLIS, R. On the relations between seen objects and components of potential actions. **Journal of experimental psychology: human perception and performance**, v.24, n. 3, p. 830–846, 1998.

- (1) a atividade cognitiva acontece no mundo real e inerentemente envolve percepção e ação;
- (2) os processos cognitivos acontecem de acordo com as pressões do ambiente que são ocasionadas de acordo com o tempo;
- (3) Nós exploramos o ambiente com a finalidade de captar apenas as informações necessárias e isto é causado pelos limites nas habilidades de processar informações (por exemplo limite de atenção e memória de trabalho);
- (4) o ambiente faz parte do sistema cognitivo, ou seja, não há um limite entre as contribuições internas ou externas para a cognição;
- (5) a cognição não possui somente o objetivo de representar o mundo externo, mas orienta a ação do sujeito neste ambiente;
- (6) a cognição depende de estruturas de conhecimento que são baseadas em experiências corporais.

Não faz parte do escopo deste trabalho a discussão de todas as afirmações analisadas por Wilson (2002), entretanto, vale ressaltar que o autor considera que as três primeiras afirmações e a quinta são parcialmente verdadeiras, a quarta é profundamente problemática e a sexta é a mais poderosa das afirmações, pois há evidências de que os processos cognitivos baseados no corpo criam fenômenos mentais “off-line” como imagens mentais, memória de trabalho, raciocínio, resolução de problemas, dentre outras (AMIN; JEPPSSON; HAGLUND, 2015; WILSON, 2002). Ainda, Wilson (2002, p.635, tradução nossa) conclui que “ao invés de tratarmos a cognição incorporada como um único ponto de vista, nós precisamos tratar os argumentos específicos que têm avançado, cada um de acordo com seus próprios méritos”. Desta forma, a nossa investigação, que será detalhada no próximo capítulo, está de acordo com sexto argumento proposto pela autora.

Nas duas últimas décadas, tem-se aumentado o número de pesquisas em cognição incorporada. Entretanto, é importante salientar que, embora filósofos, psicólogos e educadores admitam a relação entre conhecimento e percepção sensorial, poucos são os pesquisadores que consideram as ações cinestésicas em suas teorias cognitivas. O maior diferencial da cognição incorporada em relação ao que é chamado de ciência cognitiva padrão é o papel fundamental do corpo e das ações motoras no desenvolvimento da percepção, aprendizagem, linguagem, emoção e consciência. Tal abordagem muda por completo o conceito de cognição; de maneira tal que esta incorporação não é apenas “mais um fator” a ser considerado por uma mente incorpórea e por processamentos “desencarnados”. O corpo passa a ser parte integrante e indissociável dos processos cognitivos.

Ao se considerar o ensino de ciências, encontramos poucas pesquisas que envolvem cognição incorporada. Contudo, em educação matemática, muito já se vem trabalhando e alguns resultados de pesquisas podem ser encontrados na literatura. Desta forma, pretendemos detalhar na próxima seção o panorama de pesquisas na área.

3.2 As pesquisas na área

As pesquisas sobre cognição incorporada e pensamento espacial na educação são bem recentes, portanto, decidimos realizar uma análise descritiva de sua evolução ao longo do tempo. Além disso, optamos por uma descrição dos trabalhos encontrados que possuem certa relação com a nossa investigação. Esta seção possui a finalidade de ratificar a importância desse tema de pesquisa e revela o caráter inovador para a área de ensino de ciências e matemática.

Iniciamos nossa primeira análise em uma das maiores bibliotecas online de pesquisas em educação, a *Education Resources Information Center* (ERIC). Em uma primeira busca utilizamos os termos *Embodied cognition and spatial thinking* (tradução livre para cognição incorporada e pensamento espacial), palavras-chave escolhidas por serem os termos diretamente ligados aos principais referenciais de nossa investigação. Para esta busca encontramos apenas uma pesquisa realizada em 2013.

Nesta pesquisa, intitulada “Explorando como as crianças usam suas mãos para pensar: uma análise de interação incorporada” (livre tradução do título original *Exploring how children use their hands to think: an embodied interactional analysis*) (ANTLE, 2013), a autora analisa “como diferentes tipos de interações facilitam o pensamento das crianças quando elas manipulam objetos” (ANTLE, 2013, p.938, tradução nossa).

Participaram deste estudo 132 crianças de 7 a 10 anos e a pesquisa fez uso de 3 diferentes tipos de quebra-cabeças (jogos que envolvem habilidades espaciais) que possuem diferentes características no processo de interação, como feedback tátil, número de jogadores envolvidos, feedback audiovisual, entre outras. Um deles (1) é o quebra-cabeças tradicional feito de papelão com 54 peças; o segundo (2) utilizava uma interface gráfica de um software de computador, entretanto é similar ao quebra-cabeças anterior (1) e era por meio de um único mouse que os estudantes manipulavam o jogo, que possuía uma resposta audiovisual positiva a cada jogada correta; e o último (3), chamado de “interfaces tangíveis de usuário”, que possui interface gráfica que utiliza artefatos físicos como representações e controles para informações digitais, ou seja, uma plataforma tátil que envolve os princípios do (1) (o quebra-cabeças em si), uso das mãos para manipular as peças na interface, e a resposta audiovisual prevista no (2) (ANTLE, 2013). Os quebra-cabeças (2) e (3) estão ilustrados Figura 5:

Figura 5. Quebra-cabeças (3) à esquerda e (2) à direita.

Fonte: Antle (2013, p. 994).

Foram considerados dados de apenas 40 estudantes, filmados realizando a tarefa. O número de dados analisados foi reduzido pois os pesquisadores optaram por considerar apenas as informações dos estudantes que tiveram uma participação considerada como significativa no jogo. Os resultados desta investigação indicam que os estudantes que brincaram com o quebra-cabeças 3, que mistura o uso das mãos com um feedback audiovisual, tiveram uma interação bem-sucedida com o jogo em um menor tempo se comparados com os estudantes que jogaram os outros tipos de quebra-cabeças. A autora sugere que esta abordagem aumentou a capacidade em resolver mentalmente o quebra-cabeça na medida em que os estudantes jogavam (ANTLE, 2013).

Retornando às buscas na biblioteca digital ERIC, ao digitarmos os termos *Embodied cognition and education* (tradução para Cognição incorporada e educação), obtivemos os seguintes resultados (Tabela 1):

Tabela 1. Resultados das buscas pelos termos Embodied Cognition and Education no ERIC.

Embodied cognition and education	
Desde 2017	1 resultado
Desde 2016	5 resultados
Desde 2013 (últimos 5 anos)	44 resultados
Desde 2008 (últimos 10 anos)	72 resultados
Desde 1998 (últimos 20 anos)	90 resultados

Fonte: autoria própria.

Os trabalhos encontrados nesta plataforma se encontram na seguinte distribuição (Figura 6) ao longo dos anos:

Figura 6. Evolução das pesquisas em cognição incorporada e educação de acordo com a plataforma ERIC.

Fonte: autoria própria.

O gráfico acima representa a quantidade de trabalhos sobre cognição incorporada e educação desenvolvida ao longo dos anos de 1998 até abril de 2017, considerando os trabalhos encontrados na biblioteca online ERIC. A linha tracejada representa uma linha de tendência, ou seja, a predisposição do número de pesquisas de acordo com sua evolução ao longo do tempo.

Podemos notar que o número de trabalhos com o tema de cognição incorporada tem aumentado gradativamente ao longo dos anos. Entretanto, o número de pesquisas ainda é relativamente baixo, com apenas 90 pesquisas em cerca de 20 anos.

Com a finalidade de refinar mais a análise, optamos por separar os trabalhos que possuem outro tipo de ligação com a nossa investigação, ou seja, buscamos aqueles que tinham alguma relação com aprendizagem de ciências ou matemática. Desta forma, analisamos todos os 90 resumos e separamos 29 trabalhos dos últimos 10 anos. Estes trabalhos estão distribuídos ao longo dos anos da seguinte forma (Figura 7):

Figura 7. Evolução de pesquisas em cognição incorporada e educação desde 2008 dos artigos selecionados na plataforma ERIC.

Fonte: autoria própria.

Esta linha de tendência também aponta para um crescimento nas pesquisas na área, mas, mesmo assim, os dados revelam o quanto são escassas. Ao procurarmos no buscador por *Embodied cognition and science education* (tradução para Cognição incorporada e ensino de ciências) encontramos apenas 32 resultados nos últimos 10 anos. Contudo, como a palavra “*education*” estaria nas duas buscas (*Embodied cognition and education* e *Embodied cognition and science education*), os 32 trabalhos encontrados nesta segunda busca estariam também na primeira.

Para uma busca ainda mais refinada, optamos por pesquisar os termos entre aspas, ou seja, “*Embodied cognition and education*” e “*Embodied cognition and Science education*”. Desta forma, limitamos a lista de resultados para apenas os trabalhos que possuem estes termos na sequência exata escrita. Para “*Embodied cognition and education*” tivemos apenas 1 resultado, datado em 2016, e para “*Embodied cognition and science education*” não obtivemos resultados.

A pesquisa encontrada em 2016, “A contribuição de Ernst Mach para a cognição incorporada e educação matemática” (livre tradução do título original *The contribution of Ernst Mach to embodied cognition and mathematics education*) (ZUDINI; ZUCCHERI, 2016), trata-se de uma análise das contribuições feitas por Ernst Mach por meio de teorias epistemológicas sobre as interações entre cognição incorporada e matemática. Esta investigação teve a finalidade de um melhor entendimento da educação matemática no presente (ZUDINI; ZUCCHERI, 2016).

Ernst Mach foi um físico, fisiologista e filósofo austríaco que desenvolveu teorias epistemológicas. Tais teorias contribuíram para a prática docente em educação matemática. Segundo Mach, o conhecimento tem uma origem biopsicológica, ou seja, para ele “a construção do conhecimento é um processo essencialmente adaptativo, colocado em continuidade com os processos biológicos pelos quais os seres vivos se adaptam ao seu ambiente natural” (ZUDINI; ZUCCHERI, 2016, p.3, tradução nossa)

A partir de suas teorias, Josef Jacob, um diretor de escola austríaco, desenvolveu um método didático chamado método de Jacob que foi bastante utilizado no início do século XX na Áustria. Este método é baseado nas ideias de Mach de que os conceitos matemáticos possuem origem nas experiências corporais (ZUDINI; ZUCCHERI, 2016). Desta forma, ele defende por exemplo, o uso de metáforas conceituais como ferramenta cognitiva (ZUDINI; ZUCCHERI, 2016).

Dando continuidade à nossa análise sobre as pesquisas na área, para obtermos um panorama brasileiro sobre as pesquisas em cognição incorporada e educação para a aprendizagem de ciências e matemática, optamos por realizar uma busca no *Scientific Electronic Library Online* (SciELO), uma biblioteca online que abrange uma coleção selecionada de periódicos científicos brasileiros.

Esta busca foi realizada em 4 etapas separadas pelos termos: (1) Cognição incorporada e pensamento espacial, (2) Cognição incorporada e educação, (3) Cognição incorporada e ensino de ciências e, por fim, (4) Cognição incorporada e ensino de matemática. Não obtivemos resultados para nenhuma das 4 buscas.

Também realizamos uma busca no Google Acadêmico nas duas línguas, inglês e português. Os resultados obtidos se encontram na Tabela 2:

Tabela 2. Resultados das buscas separadas por termos no Google Acadêmico.

Termos utilizados	Quantidade de trabalhos encontrados
<i>“Embodied cognition and spatial thinking”</i>	1 resultado
<i>“Embodied cognition and education”</i>	3 resultados
“Cognição incorporada e pensamento espacial”	Nenhum resultado
“Cognição incorporada e educação”	Nenhum resultado
“Cognição incorporada e ensino de ciências”	Nenhum resultado
“Cognição incorporada e ensino de matemática”	Nenhum resultado

Fonte: autoria própria.

Obtivemos um número muito grande de resultados quando não digitamos os termos entre aspas. Este fato nos impossibilitou de analisar os trabalhos um a um. Entretanto, com os termos entre aspas, com a finalidade de refinar as buscas para trabalhos que contenham as palavras naquela sequência exata, encontramos apenas um resultado para (1) “*Embodied cognition and spatial thinking*” e três resultados para (2) “*Embodied cognition and education*”. O trabalho encontrado em (1), de 2017, possui uma relação muito forte com a nossa investigação. Para (2), dos 3 trabalhos, apenas um de 2016 possui algum tipo de ligação com a nossa pesquisa, portanto, decidimos descrevê-los na próxima seção.

A nossa revisão bibliográfica evidencia o fato de que as pesquisas que relacionam cognição incorporada com o pensamento espacial estão em ascensão, apesar de ainda escassas, revelando que existe uma carência deste tipo de pesquisa na área. Assim, na próxima seção, apresentaremos a relação entre cognição incorporada e pensamento espacial, por meio de evidências encontradas na literatura.

3.3 Por que cognição incorporada pode ser uma ferramenta para o aprimoramento de habilidades espaciais?

De acordo com Newcombe (2010), ainda não há no momento uma resposta tão exata para a questão de como melhorar o pensamento espacial. Além disso, pesquisas apontam que possuímos diferentes níveis de pensamento espacial (METOYER; BEDNARZ; BEDNARZ, 2015), portanto é difícil definir algum ponto de início para algum treinamento deste. Estes fatos evidenciam a carência e a necessidade de pesquisas que mostrem como o pensamento espacial pode ser aprimorado. Portanto, nesta seção, pretendemos discutir a relação entre cognição incorporada e este tipo de pensamento nos apoiando nos trabalhos relacionados.

Estudos apontam que o pensamento espacial pode ser melhorado por meio de intervenções que requerem o uso de habilidades espaciais, pois como já ressaltado anteriormente, o pensamento espacial tem como bases estas habilidades. Tais intervenções envolvem atividades com ferramentas como o jogo Tetris (o jogo requer que o jogador consiga encaixar formas geométricas umas nas outras sem que sobre algum espaço entre elas), uso de mapas, diagramas e até mesmo gestos. Além disso, o mesmo se dá para atividades que necessitam do uso de linguagem que favoreça o pensamento espacial (como em cima, ao lado, atrás, na sua frente, de ponta cabeça) (NEWCOMBE, 2010).

As abordagens que possuem o objetivo de melhorar o pensamento espacial são essencialmente interacionistas. Assim, as habilidades espaciais podem ser melhoradas por meio de treinamentos (METOYER; BEDNARZ; BEDNARZ, 2015). Desta forma, pesquisas vêm

sendo conduzidas com o objetivo de explorar atividades voltadas para o aprimoramento deste tipo de habilidade.

Em especial, algumas atividades foram desenvolvidas por pesquisadores para o aprimoramento da linha numérica mental (KRASA; SHUNKWILER, 2009; LINK et al., 2013). Estas atividades geralmente envolvem representações físicas dos números da mesma forma como os representamos mentalmente. Link et al. (2013), por exemplo, investigaram o quanto a cognição incorporada interfere na representação espacial da magnitude de um número, ou seja, da linha numérica mental.

Os pesquisadores desenvolveram o “*walk the number line*”, atividade que consistiu em uma linha no chão com apenas dois números: zero como início e cem como final. Assim, 33 alunos de primeiro ano de uma escola na Alemanha deveriam indicar a localização de um determinado número caminhando até sua posição estimada. O grupo de crianças que utilizou o corpo caminhando para estimar a posição do número foi comparado a um grupo que indicou a posição estimada com o dedo, através de uma linha semelhante, em um *tablet*. Os resultados mostram que o grupo que utilizou o corpo apresentou melhoras significativas em suas representações numéricas básicas e espaciais, evidenciando a influência da cognição incorporada nas representações abstratas, como a de um número (LINK et al., 2013).

Os resultados acima descritos revelam o potencial de abordagens que utilizam a cognição incorporada para o aprimoramento das representações abstratas da magnitude de um número, um conceito estreitamente espacial. Assim, a seguir, descreveremos alguns trabalhos encontrados na revisão da literatura que possuem determinada ligação com a investigação que realizamos.

No primeiro trabalho, intitulado “*Ensinando estudantes a pensar espacialmente através de ações incorporadas: Princípios de design para ambientes de aprendizagem em ciência, tecnologia, engenharia e matemática*” (livre tradução do título original “*Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics*”), os autores partem de pressupostos previstos na teoria de cognição incorporada de que cognição, memória e representações de conhecimento mantêm traços das impressões sensório-motoras das ações e percepções do ambiente físico (DESUTTER; STIEFF, 2017).

DeSutter e Stieff (2017) partem de evidências de que os indivíduos podem usar ações incorporadas quando estão envolvidos com o pensamento espacial e que estas ações podem ser treinadas para produzir melhorias na aprendizagem espacial em uma disciplina.

Desta forma, eles desenvolveram um ambiente de aprendizagem incorporado baseado em três princípios:

- (1) os ambientes de aprendizagem incorporada devem incluir explicitamente entidades espaciais e suas relações com as mãos e o corpo;
- (2) os ambientes de aprendizagem incorporada devem simular operações espaciais sendo o mais fieis possíveis;
- (3) os ambientes de aprendizagem incorporada devem ligar ferramentas inovadoras, como simulações, a ações incorporadas (DeSutter, Stieff, 2017).

O ambiente de aprendizagem criado pelos autores é chamado de interface incorporada e envolve um software de computador no qual a estrutura de uma molécula, sendo os átomos representados por círculos e as ligações por traços, pode ser manipulada de acordo com os movimentos corporais. Assim, os estudantes puderam visualizá-la como se estivesse em três dimensões e manuseá-la de acordo com movimentos do corpo. Então, quando o estudante se move de um lado para o outro ele consegue observar a molécula de diferentes perspectivas (DESUTTER; STIEFF, 2017).

Com o objetivo de compreender se a ligação de uma ação motora, que compreende diretamente a forma como os seres humanos experimentam o meio ambiente, pode ser útil no ensino de mudanças na perspectiva espacial, 6 estudantes interagiram com a interface. Inicialmente eles responderam perguntas simples sobre como a molécula era modificada de acordo com a mudança de perspectiva criada quando eles olhavam a molécula em diferentes ângulos. Logo após, estes estudantes desenharam diagramas de Newman e de Dash-Wedge, que são representações em duas dimensões de uma molécula em três dimensões, a partir de uma imagem estática de uma molécula, como exemplificado na Figura 8. O desenho correto dos diagramas exige que os alunos imaginem mentalmente uma mudança de perspectiva (DESUTTER; STIEFF, 2017).

Figura 8. Imagem esquemática de (1R,2R)-1-aminopropane-1,2-diol. Os balões superiores são diagramas de Newman e os inferiores, diagramas de Dash-Wedge.

Fonte: DeSutter, Stieff (2017, p.15).

Os pesquisadores observaram que mesmo na etapa em que os estudantes desenhavam os diagramas a partir de uma imagem estática da molécula, eles continuavam fisicamente mudando de perspectiva, ou seja, movendo seus corpos assim como faziam na etapa de interação com a interface. Esta ação seria mais uma evidência de incorporação (DESUTTER; STIEFF, 2017).

No segundo trabalho, intitulado “Uso educacional da tecnologia baseada em gestos no início da infância” (livre tradução do título original “*Educational use of gesture-based technology in early childhood*”) (OZKAYA; GUNINDI, 2016), os autores defendem, a partir da visão da teoria da cognição incorporada, o uso de ferramentas tecnológicas baseadas em gestos para a aprendizagem. Os autores partem do pressuposto de que os gestos e a cognição afetam um ao outro positivamente. Estas ferramentas envolvem algumas características, tais quais reconhecimento de movimento e som, leitura de marcadores visuais, uso do corpo e das mãos como dispositivo de controle, dentre outras. Ozkaya e Gunindi (2016) também descrevem algumas destas ferramentas como o Microsoft Xbox Kinect, Nintendo Wii Remote e o Sony PlayStation Move. Para os autores, estas ferramentas com atividades de aprendizagem são grandes aliadas na educação por promoverem uma forte ligação entre o corpo e a cognição.

Para finalizar este capítulo concluímos que os resultados obtidos em nossa análise bibliográfica evidenciam uma escassez de trabalhos que relacionam o pensamento espacial com cognição incorporada no universo das pesquisas em ensino de ciências e matemática. O tema é

recente, mas de potencial interesse para a área quando se visa compreender possíveis fatores de influência no processo de ensino e aprendizagem de conceitos científicos. Desta forma, no próximo capítulo, apresentaremos uma proposta de jogo de baixo custo, criado e desenvolvido pelos autores desta dissertação, que envolve a cognição incorporada para o aprimoramento ou desenvolvimento de habilidades espaciais.

CAPÍTULO 4 – ABORDAGEM

Desenvolvemos uma atividade em formato de jogo, chamado *Math-e-motion*, em conjunto com o Prof. Dr. Gary Scott, da University of Redlands (Califórnia - Estados Unidos). Este jogo, para estudantes de terceiro ano do ensino fundamental, envolve princípios da cognição incorporada para o aprimoramento de habilidades espaciais. O objetivo principal desta pesquisa consiste implementar esta atividade em estudantes do terceiro ano do ensino fundamental para investigarmos o papel da cognição incorporada no desenvolvimento de habilidades espaciais, ou seja, buscando analisar a influência exercida pelo corpo em tais habilidades. Por fim, investigaremos o impacto desta atividade no desempenho dos estudantes em conteúdos matemáticos como Espaço e Forma e Tratamento da Informação, que são conteúdos previstos em documentos oficiais para o ensino fundamental. Desta forma, neste capítulo, serão descritos o jogo e os estudos conduzidos.

4.1 A proposta

O jogo ocorre em um piso quadriculado, simulando o plano coordenado e possui 4 níveis de dificuldade. Os estudantes desempenham os papéis de “saltador” e “observador”. A ideia é que os alunos desenvolvam a localização espacial de acordo com o ponto de vista de outro estudante.

O procedimento se dá da seguinte forma: cinco estudantes são colocados em uma sala com um piso quadriculado, que é chamado de campo de jogo, e simula um plano coordenado. Esse campo possui duas fitas: uma colocada na vertical (simulando o eixo y) e outra na horizontal (simulando o eixo x), formando um ângulo reto. Estas fitas não possuem os nomes de eixo x e eixo y . Ambos os eixos têm uma seta em sua extremidade para representar valores positivos, fornecendo uma orientação para o saltador. Os pés do saltador devem estar ligeiramente afastados e centrados na junção dos eixos. O saltador identifica a sua esquerda/direita e para frente/para trás e também se orienta de modo que esteja olhando para os valores positivos de y . Os demais estudantes, que desempenham o papel de observadores, ficam estacionados em cada uma das extremidades do campo de jogo, assim como ilustrado na Figura 9:

Figura 9. Campo de jogo.

Fonte: autoria própria.

O saltador recebe, por meio de sorteio, cinco sequências de saltos escritas por extenso. Estas sequências são chamadas de regras. Estas regras não são mostradas aos demais estudantes. Cada uma destas regras consiste em m saltos ou para a esquerda ou direita e n saltos para frente ou para trás. Um exemplo de uma regra válida seria “três saltos para a direita e quatro saltos para frente”. Os saltos para qualquer sentido devem ser inferiores a cinco por limitações do espaço físico presentes nas escolas. A Figura 10 ilustra a execução desta regra:

Figura 10. Execução da regra: três para direita e quatro para frente.

Fonte: autoria própria.

O saltador começa o jogo de acordo com a primeira regra sorteada. Enquanto ele a executa, os observadores devem ficar atentos para identificar, escrever e desenhar cada regra executada em uma pequena lousa disposta em uma prancheta, como ilustrado na Figura 11. Esta lousa possui um plano coordenado e os observadores devem desenhar o movimento feito de acordo com a perspectiva do saltador. Quando o observador termina de desenhar o movimento, o pesquisador checa todas as pranchetas. Se o estudante desenhou corretamente, o pesquisador informa ao observador e apaga a prancheta. Se o estudante desenhou ou escreveu erroneamente, o pesquisador faz perguntas (por exemplo: ele saltou primeiramente para esquerda ou direita? Ou se você fosse o saltador, para qual lado teria ido inicialmente?) para ele refletir e tentar chegar até a resposta correta. Assim que todos os observadores desenharem e escreverem a regra corretamente, o saltador realizará a próxima regra.

Figura 11. Prancheta para os observadores desenharem e anotarem as regras executadas.

Fonte: autoria própria.

Esta mudança de perspectiva e a rotação mental requerida por parte do observador e o fato de que os estudantes “experimentam” a sensação espacial enquanto saltadores são os elementos chave do jogo.

Assim que o saltador realizar as 5 regras, um dos observadores assume o papel de saltador e os observadores trocam as suas posições no sentido anti-horário, por uma questão de padronização do procedimento. Desta forma, todos os estudantes realizam o papel de saltador e assumem todas as posições como observadores. A figura Figura 12 ilustra como se dá a rotação no sentido anti-horário:

Figura 12. Mudança de posição entre os observadores no sentido anti-horário.

Fonte: autoria própria.

Após todos os estudantes desempenharem ambos os papéis e todas as rotações forem realizadas, o pesquisador avalia o desempenho geral dos estudantes. A cada dia um único nível é executado e demanda pelo menos 1 hora. Existem 4 níveis de dificuldade no descobrimento das regras no *Math-e-motion*:

- Nível 1: Cada rodada do jogo requer que cada participante implemente cinco regras. O primeiro participante (saltador) vai implementar as cinco regras, uma de cada vez, enquanto os outros parceiros (observadores) observam e anotam as regras depois de elas terem sido realizadas. Assim que primeiro participante executar as cinco regras, os participantes trocam os papéis, então o segundo participante é o saltador e os demais observadores. Vale ressaltar que a cada rodada os observadores trocam de lugar entre si.

- Nível 2: Neste nível, a única mudança é que os saltos são representados por letras e números. Por exemplo, uma regra válida seria D3, F4 (três para a direita e quatro para a frente). Cada letra indica a direção do salto. Assim, tanto as regras sorteadas, quanto a forma que os observadores anotam os saltos observados na prancheta utilizam esta forma de representação

- Nível 3: Neste nível, a única mudança é que os saltos são representados por notação de números racionais. Para frente = números positivos, para trás = números negativos, direita = números positivos e esquerda = números negativos. Usando o exemplo acima, a regra seria: $+3/+4$.

- Nível 4: Neste nível, a mudança é que agora, cada salto representa 10 unidades. Neste nível ainda utilizaremos a noção de para frente = números positivos, para trás = números negativos, direita = números positivos e esquerda = números negativos. Assim, a regra utilizada

como exemplo acima seria: +30/+40. Pretendemos incluir neste nível números terminados em 5 (o 5 representa meio salto), como 5, 15, 25, 35 e 45.

Vale ressaltar que a proposta de jogo foi extensamente discutida por pesquisadores da área em diferentes momentos da realização desta pesquisa, como em congressos, disciplina realizada como parte dos créditos necessários durante o mestrado e apresentação durante o estágio no exterior.

4.2 O Estudo preliminar

Realizamos um estudo preliminar com a finalidade de testar o jogo empiricamente. O objetivo, de acordo com a teoria que fundamentou sua criação, foi testar a hipótese de que o *Math-e-motion* contribui para o desenvolvimento de habilidades espaciais. Além disso, optamos também por investigar o papel da cognição incorporada nesse processo. Para fins de aplicação real da nossa atividade, também nos interessou, neste piloto, examinar a receptividade das crianças bem como identificar possíveis problemas em sua execução. Desta forma, descrevemos nesta seção o experimento conduzido em sua versão preliminar.

4.2.1 O público participante

A pesquisa foi conduzida com estudantes de quatro turmas do terceiro ano de duas escolas municipais, duas turmas de cada escola, em uma cidade do ABC Paulista – São Paulo. Também participaram deste estudo preliminar alunos do terceiro ano de uma escola em Redlands, Estados Unidos, tendo sido conduzido pelo prof. Dr. Gary Scott.

Nós iniciamos a pesquisa em São Paulo com 108 estudantes com idades entre sete e oito anos. Entretanto, ao final, consideramos apenas os dados de 49 estudantes dado o excessivo número de faltas dos alunos, o que os levou a não participar de alguma etapa da pesquisa que inclui os testes e a aplicação do jogo. Destes 49 estudantes, 17 eram do gênero feminino e 32 do gênero masculino. Já na Califórnia, o prof. Gary iniciou com 33 estudantes e considerou dados de apenas 30 pelo mesmo motivo.

As duas escolas de São Paulo ficam em regiões periféricas do município e possuem um Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb) relativamente parecidos. Uma delas possui uma nota de 6,0 e a outra de 6,4. A escola da Califórnia possui uma realidade econômica e social bastante diferente das duas escolas de São Paulo.

A escolha deste público, terceiro ano, foi realizada levando em consideração que, nesta idade escolar, é requerido que os estudantes comecem a pensar proporcionalmente em números. Para este tipo de habilidade, segundo Krasa (2009), é necessário que os estudantes

tenham habilidades espaciais desenvolvidas. Além disso, estas habilidades são de extrema importância quando tratamos de assuntos como Espaço e Forma e Tratamento da Informação, conteúdos a serem desenvolvidos neste ano escolar de acordo com o PCN (Matemática – Ensino Fundamental anos iniciais) (BRASIL, 1997b).

4.2.2 O desenho experimental e seu desenvolvimento

Conduzimos um *quasi-experimento* a partir de um design de dois grupos não aleatórios, o de controle e o experimental, com pré-testes e pós-testes (MARCZYK; DEMATTEO; FESTINGER, 2005) como ilustrado abaixo:

$$NR - O - X_1 - O$$

$$NR - O - X_2 - O$$

Os itens desta notação significam, de acordo com Marczyk, DeMateo e Festinger (2005, p. 127, tradução nossa):

O = observação (pré e pós-teste);

X = manipulação experimental (variável independente); o subscrito identifica diferentes níveis ou grupos da variável independente (neste caso, X_1 é utilizado para denotar a intervenção e X_2 a intervenção alternativa para o grupo controle);

NR = grupos não aleatorizados.

Desta forma, as quatro turmas foram divididas em dois grupos, que chamaremos de grupo experimental e grupo controle, da seguinte forma: escola 1 – uma turma foi parte do grupo experimental e a outra do grupo controle; escola 2 – a divisão foi realizada da mesma forma, sendo que não houve nenhum critério pré-estabelecido para a seleção dos grupos.

Ao final, decidimos juntar os dados das turmas de acordo com o grupo ao qual pertencem, ou seja, juntamos os dados de todos os estudantes das turmas que fizeram parte do grupo experimental e todos os dados dos estudantes das turmas que fizeram parte do grupo controle. Tomamos esta atitude visando um aumento no rigor dos resultados estatísticos, sabendo que se trata de perfis bastante homogêneos, ainda que pertencentes a escolas diferentes. Assim, o grupo experimental foi composto por 24 estudantes, enquanto que o de controle 25.

O grupo experimental realizou a atividade como descrita anteriormente até o terceiro nível com os eixos trocados, ou seja, os estudantes iniciaram os saltos “para frente” ou “para trás” e só depois “para a esquerda” ou “para a direita”. A duração da aplicação de cada nível foi de aproximadamente 1 hora e a atividade toda teve duração de uma semana e meia, como descrito na Tabela 3:

Tabela 3. Organização semanal da aplicação da investigação nas escolas no estudo preliminar.

Semana	Dia	Atividade
Semana 1	Segunda-feira	Aplicação de testes
	Quarta-feira	Nível 1
	Sexta-feira	Nível 2
Semana 2	Segunda-feira	Nível 3
	Quarta-feira	Aplicação de testes

Fonte: autoria própria.

O grupo controle realizou a mesma atividade do grupo experimental e seguiu a mesma agenda. Entretanto, o campo de jogo foi constituído por um tabuleiro de xadrez com os eixos desenhados e o papel do saltador era desempenhado por meio de uma peça de xadrez, ou seja, o saltador, neste grupo, não utilizava o corpo como um todo para este papel, apenas as mãos. Abaixo apresentamos uma imagem (Figura 13) de estudantes do grupo controle realizando a atividade:

Figura 13. Grupo controle.

Fonte: autoria própria.

Mesmo que tenha sido aplicada a mesma atividade em ambos os grupos, com respeito ao seu conteúdo, o grupo controle não requeria uma experiência incorporada sistemática para realizá-la. Ou seja, o grupo controle precisava realizar apenas movimentos corporais não específicos e sem relação direta com as habilidades espaciais. Assim como argumentado em LINK et al., (2013) os estudantes que utilizam o corpo com um todo

conseguem experimentar uma “sensação” espacial que não é prevista para o estudante que utiliza apenas as mãos.

O propósito deste tipo de design é investigar se a variável independente (no caso, o jogo com o corpo) causou algum efeito (MARCZYK; DEMATTEO; FESTINGER, 2005). Para isso, realizamos análises estatísticas comparando o que chamamos de ganhos (resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste) de cada grupo. Este tipo de análise minimiza problemas de amostragem, como um grupo possuir habilidades espaciais mais desenvolvidas anterior a aplicação do jogo do que o outro grupo.

Além disso, realizamos um teste de “tamanho de efeito” nas duas distribuições dos ganhos. Este teste é uma medida quantitativa da intensidade de um fenômeno e utilizamos a medida de delta de Cliff para este teste estatístico. Esta medida, que chamamos de d , compara cada observação de um grupo a cada observação do outro grupo e conta quantas vezes as observações do primeiro são superiores ou inferiores às observações do segundo (GRISSOM; KIM, 2005). O resultado deve ser interpretado através de uma escala que varia de 1 (quando todos os valores de um grupo são superiores aos valores do outro grupo) a -1 (quando o inverso é verdadeiro) (GRISSOM; KIM, 2005).

De acordo com Grissom e Kim (2005), podemos considerar:

- 1) $d \geq 0,47$ como grande, ou seja, quando os valores de um grupo são significativamente maiores do que os valores do outro grupo;
- 2) $0,33 < d < 0,47$ como médio;
- 3) $0,147 < d < 0,33$ como pequeno;
- 4) $d \leq 0,147$ como insignificante.

A nossa hipótese nula é a de que não há diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos. Já a nossa hipótese alternativa é de que há diferença entre os dois ganhos, sendo o ganho do grupo experimental significativamente superior ao ganho do grupo controle.

Na Califórnia foi conduzido um experimento de controle mínimo (BROCKE; ROSEMANN, 2013), ou seja, houve apenas um grupo que realizou a atividade como descrita para o grupo experimental. O grupo também foi submetido a um pré-teste e pós-teste e analisamos se a diferença entre os testes é estatisticamente significativa. Nós também realizamos um teste de “tamanho do efeito” entre as distribuições.

4.2.3 Os testes

Antes e depois das atividades, os estudantes realizaram testes utilizados para medir habilidades espaciais. Estes testes já foram extensamente validados na literatura (WAI; LUBINSKI; BENBOW, 2009). Desta forma, chamaremos de pré-testes os testes realizados antes da atividade e de pós-teste os realizados após a atividade.

Um dos testes, o *Thurstone Mental Rotation Test* (REDICK et al., 2012), ilustrado na Figura 14, mediu a capacidade de rotação mental dos estudantes antes e depois da atividade. Neste teste, composto por 16 itens, os alunos observavam uma imagem de um quadrado incompleto e deveriam escolher uma das 4 imagens, que eram apresentadas ao lado, que, juntamente com a primeira, completaria o quadrado. Com duração aproximada de 30 minutos, utilizamos este teste como medidas pré e pós-teste, entretanto, com diferentes itens entre um e outro.

Figura 14. Exemplos resolvidos do *Thurstone Mental Rotation Test*.

Fonte: Redick et al. (2012).

O segundo teste, *Spatial Orientation Test* (HEGARTY; WALLER, 2004), ilustrado na Figura 15, mediu a capacidade de orientação espacial dos alunos antes e depois da atividade. No teste, composto por 12 itens, os alunos realizavam uma localização espacial mentalmente entre algumas imagens e depois transpunham esta mesma localização para um círculo. Para realizar essa etapa de transposição, foi requerido uma mudança de perspectiva. A seta vermelha na Figura 15 representa a localização aproximada de onde estaria a placa de “pare” de acordo com a mudança de perspectiva. A partir dos resultados deste teste, então, é possível investigar

se nosso jogo contribuiu ou não para o desenvolvimento desta habilidade espacial. Assim como fizemos anteriormente, utilizamos diferentes itens para o pré e pós-teste.

Figura 15. Item resolvido do *Spatial Orientation Test*.

Fonte: Hegarty; Waller (2004).

No próximo capítulo, apresentaremos os resultados obtidos nesta aplicação piloto, juntamente com uma discussão acerca de nossa interpretação. Além disso, faremos um comparativo entre os dados obtidos por nós e os dados sobre orientação espacial obtidos pelo Prof. Dr. Gary Scott, na Califórnia. O pesquisador americano usou, como pré e pós-teste, uma versão do teste de orientação espacial que utilizamos aqui no Brasil. A diferença é que a localização espacial requerida no jogo deveria ser desenhada antes, como descrito na figura 16. O pré e pós-teste para orientação espacial também foi composto por 12 questões e diferiam um do outro pelos itens de cada questão.

Figura 16, Imagem de uma questão do pré-teste utilizado na Califórnia: “Problema 1. [**primeiro item**] Imagine que você é o menino [mencionado nas instruções] e está no lugar do gato, olhando para a placa de pare. Desenhe

uma linha sólida com uma seta para mostrar como você apontaria para a casa. [segundo item] Dentro do círculo desenhe outra linha com uma seta para mostrar como você apontaria para a casa.”

Fonte: Acervo de Gary Scott (traduzida por nós).

A contagem da pontuação também se deu de forma diferente. No caso dos testes utilizados em São Paulo a pontuação é o número de acertos em cada teste. Já na Califórnia, para cada problema do teste foi considerado como o máximo de três pontos (um ponto para o primeiro item do problema, que é realizado com as figuras, e dois pontos para o segundo item, que é realizado no círculo).

4.3 O Estudo final

Este estudo, realizado em 2017, foi conduzido com cinco turmas de duas escolas municipais localizadas em uma cidade do ABC Paulista, São Paulo. A coleta de dados teve duração de aproximadamente cinco semanas. O objetivo, de acordo com a teoria que fundamentou sua criação, foi testar a hipótese de que o *Math-e-motion* contribui para o

desenvolvimento de habilidades espaciais, além de investigar o papel da cognição incorporada nesse processo. Desta forma, descrevemos nesta seção a aplicação do experimento em sua versão final.

4.3.1 O público participante

A pesquisa foi conduzida com estudantes de cinco turmas do terceiro ano de duas escolas municipais (três turmas de uma escola e duas da outra). Nós iniciamos a pesquisa 130 estudantes com idades entre sete e oito anos, entretanto, ao final consideramos apenas os dados de 107 estudantes pelos mesmos motivos do estudo anterior. Destes 107 estudantes, 52 são do gênero feminino e 54 do masculino.

Uma das escolas se localiza na região central do município, a outra uma região periférica. O Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (Ideb) de 2015 da escola da região periférica é de 5,8, já o da escola da região central é de 6,5.

4.3.2 O desenho experimental e o seu desenvolvimento

Conduzimos um *quasi-experimento* a partir de um design de três grupos não aleatórios, o de controle, o experimental e o neutro, com pré-teste e pós-testes (MARCZYK; DEMATTEO; FESTINGER, 2005) como ilustrado abaixo:

$$NR - O - X_1 - O$$

$$NR - O - X_2 - O$$

$$NR - O \quad O$$

Os itens desta notação significam, de acordo com Marczyk, DeMateo e Festinger (2005, p. 127, tradução nossa):

O = observação (pré-teste e pós-teste);

X = manipulação experimental (variável independente); o subscrito identifica diferentes níveis ou grupos da variável independente (neste caso, X_1 é utilizado para denotar a intervenção, X_2 a intervenção alternativa para o grupo controle);

NR = grupos não aleatorizados.

Desta forma, as cinco turmas foram divididas nos três grupos, que chamaremos de grupo experimental, grupo controle e grupo neutro. Consideramos as turmas da seguinte forma: escola 1 - uma turma seria o grupo controle, outra o grupo experimental e a terceira o grupo neutro; escola 2 - uma turma seria o grupo experimental e a outra o grupo controle. Não houve nenhum critério pré-estabelecido para a alocação das turmas nos grupos.

Ao final, também decidimos juntar os dados dos estudantes de acordo com o grupo ao qual pertencem. Assim, tivemos 47 estudantes no grupo experimental, 43 no grupo controle e 22 no grupo neutro. Tomamos esta atitude visando um aumento no rigor dos resultados estatísticos, sabendo que se trata de perfis bastante homogêneos, ainda que pertencentes a escolas diferentes. Além disso, vale ressaltar que consideramos os dados dos estudantes que faltaram em apenas dia da aplicação do jogo.

O grupo experimental realizou a atividade como descrito anteriormente, sendo a duração da aplicação de cada nível de aproximadamente 1 hora. Além disso, repetimos os níveis 3 e 4, visto que foram os níveis em que os estudantes apresentaram uma dificuldade maior. No total, a aplicação da atividade teve duração de cinco semanas como descrita na Tabela 4:

Tabela 4. Organização semanal da aplicação da investigação nas escolas no estudo final.

Semana	Dia	Atividade
Semana 1	Dia 1	Aplicação dos pré-testes
Semana 2	Dia 2	Nível 1
	Dia 3	Nível 2
Semana 3	Dia 4	Nível 3
	Feriado	-
Semana 4	Dia 5	Nível 3
	Dia 6	Nível 4
Semana 5	Dia 7	Nível 4
	Dia 8	Aplicação dos pós-testes

Fonte: autoria própria.

O grupo controle realizou a mesma atividade do grupo experimental, entretanto, da forma como descrita no experimento anterior, na subseção 4.2.2, com o tabuleiro de xadrez representando o campo de jogo e uma peça de xadrez representando o saltador. Já o grupo neutro participou apenas dos testes que descreveremos na seção subsequente. Vale ressaltar que ao final dos estudos, tanto o preliminar quanto o final, aplicamos o jogo com os grupos de controle e com o grupo neutro, no entanto, sem a finalidade de avaliação.

Neste caso, majoritariamente, também analisamos os ganhos (resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste) por meio de testes estatísticos. Temos como hipótese nula a de que não há diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos e hipótese alternativa a de que há diferença entre os ganhos, sendo o ganho do grupo experimental

significativamente superior aos demais ganhos dos outros grupos. Nós também avaliamos o “tamanho do efeito” assim como descrito na subseção 4.2.2.

4.3.3 Os testes

Antes e depois das atividades, aplicamos testes que medem algumas habilidades espaciais específicas e matemáticas. Aqui também chamaremos de pré-testes os testes realizados antes da atividade e de pós-teste os realizados após a atividade.

Assim, para a habilidade de rotação mental, utilizamos como pré-teste e pós-teste os testes propostos e validados por Susan Levine, da Universidade de Chicago (EHRlich; LEVINE; GOLDIN-MEADOW, 2006; LEVINE et al., 1999). Nele, apresentamos aos estudantes dois cartões. O primeiro, chamado de cartão de estímulo, possui duas “peças” que se conectadas de certa forma, através de uma rotação ou um deslize das duas “peças”, formam uma das quatro figuras presentes no segundo cartão, chamado de matriz de escolha. Os cartões estão ilustrados na Figura 17.

Figura 17. Item do teste de Rotação mental.

Este teste teve duração aproximada de 20 minutos e foi realizado individualmente da seguinte forma: o estudante se acomodou em uma cadeira de frente para uma mesa e, assim, apresentamos os cartões em cima desta mesa, como ilustrado na imagem anterior. Assim o cartão de estímulo ficou de frente para o estudante e um pouco mais afastado e o cartão matriz de escolha também de frente para o estudante, porém mais próximo. Logo após posicionarmos o primeiro cartão, nós os questionamos da seguinte forma: "Olhe para essas peças. Olhe para estas imagens. Se você juntar as peças, eles vão formar uma das imagens deste segundo cartão. Aponte para a imagem que as peças produzem". Nos cartões subsequentes nós apenas questionamos da seguinte forma: "Aponte para a imagem que as peças produzem", assim que o estudante aponta para a figura nós anotamos as respostas sem que seja dado um feedback sobre a resposta estar correta ou incorreta.

Este teste possui 32 itens, sendo 16 de rotação (requer que o estudante realize uma rotação mental das peças para apontar para a resposta correta) e 16 de deslize (requer que o estudante apenas deslize mentalmente as peças sem realizar qualquer modificação em sua orientação para apontar para a resposta correta). Desses 16 itens de cada categoria, 8 imagens apresentam simetria axial e 8 central. Assim, como o nosso interesse era medir a capacidade de rotação mental dos estudantes antes e depois da atividade, nós avaliamos apenas os 16 itens que envolvem rotação mental. O pós-teste possuía as mesmas imagens do pré-teste, entretanto as imagens de rotação agora são de deslize e vice-versa (Levine, 1999).

Além do teste de rotação mental aplicamos um teste de matemática como pré-teste (Anexo A) e pós-teste que envolve questões de tratamento da informação e espaço e forma, conteúdos previstos nos PCN para serem abordados no terceiro ano do ensino fundamental. Para este teste avaliamos o livro didático utilizado pelas escolas do município e selecionamos algumas questões que abordavam os temas. A partir disso, nós as modificamos trocando valores, títulos e imagens para que, caso os alunos já tivessem trabalhado determinada questão com o professor da turma, ele não a memorizasse causando algum possível efeito nos resultados.

O teste de matemática foi composto por 5 questões, sendo que cada uma possui 4 itens a serem respondidos de forma discursiva. As três primeiras questões estão relacionadas com gráficos de barra simples. O gráfico da primeira questão possui todas as informações explícitas em unidades. Na segunda questão, o gráfico ainda tratava de unidades, entretanto, com os números ímpares apresentados de forma implícita. A terceira questão envolve um gráfico com informações em dezenas, sendo a metade da dezena apresentada de forma implícita. Já a quarta e quinta questões envolvem o conceito de simetria. Na quarta questão

apresentamos algumas figuras e os estudantes circularam quais dessas figuras apresentam certa simetria. Por fim, a quinta questão requer que o estudante complete simetricamente algumas imagens como uma estrela ou uma casa. Neste caso também, do pré-teste para o pós-teste, modificamos os dados das questões.

Vale ressaltar que o teste de matemática não possui o objetivo de mensurar o conhecimento geral do estudante acerca dos conteúdos apresentados, mas termos um diagnóstico, antes e depois da atividade, sobre algumas habilidades que envolvem estes conteúdos.

Como a nossa proposta de atividade envolve o conceito de plano cartesiano, gostaríamos também de entender se esta é uma boa atividade para a aprendizagem deste conceito. Desta forma, aplicamos um teste (Anexo B) para que os estudantes pudessem plotar pontos em um plano cartesiano sem utilizar esta nomenclatura. Neste teste apresentamos um plano cartesiano e oito pares ordenados representados por uma letra e pedimos para que os estudantes desenhem a letra no plano cartesiano na localização que eles acreditam que estaria. Mesmo com a convicção de que no pré-teste os estudantes não saberiam ao certo como realizar o teste, aplicamos este teste como pré-teste e pós-teste em apenas 46 estudantes (13 do grupo experimental, 11 do grupo controle e 22 do grupo neutro).

Por fim, nós também filmamos 32 alunos (16 do grupo experimental e 16 do grupo controle) explicando duas determinadas rotas em um mapa retirado do Google Maps (Anexo C). Nestes mapas, primeiramente os estudantes descrevem uma rota partindo de um determinado ponto previamente estabelecido até outro ponto que continha uma imagem⁹ de uma escola. Assim, nós os questionávamos: “ imagine que você esteja aqui [apontando para o ponto de partida], como você faria para chegar até a escola [apontando para a imagem da escola]?”. Após a explicação do aluno, nós apresentamos outro mapa semelhante, agora acrescentada com as imagens de dois bonecos. A partir deste segundo mapa fazíamos o seguinte questionamento: “Agora imagine que você ainda está aqui [apontando para o ponto de partida] e você precisa ir para a escola [apontando para a escola], mas antes você precisa ir buscar os seus amigos [apontando para os dois bonecos], como você faria?”.

Este tipo de atividade, a descrição de uma rota em um mapa, requer habilidades espaciais e este teste teve a finalidade de verificar se, ao final de todo o processo, os alunos melhoraram as suas explicações a partir de descrições verbais ou movimentos corporais.

⁹ As imagens utilizadas neste teste foram retiradas de Freepik <<https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/criancas>>

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS, DISCUSSÃO E AMEAÇAS À VALIDADE

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos dois estudos, o preliminar e o final, além de uma análise sobre cada um deles. Também discutiremos as ameaças à validade.

5.1 Resultados do estudo preliminar

5.1.1 Orientação espacial

Como mencionado na subseção 4.2.2, para o teste de orientação espacial (HEGARTY; WALLER, 2004), optamos por comparar o resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste dos grupos, ou seja, o que chamamos de ganho.

Nos *boxplots* a seguir (Figura 18), pode-se identificar diferenças entre as duas distribuições. Em particular, a mediana do grupo controle é 0 e a mediana do grupo experimental é 4. Ainda, nota-se que o primeiro quartil do grupo experimental é maior do que o terceiro quartil do grupo controle. Por fim, o ganho máximo no grupo experimental (9) é também maior do que o máximo do grupo controle (3).

Figura 18. *Boxplots* dos ganhos do grupo controle e experimental para o teste de orientação espacial do estudo preliminar.

Fonte: própria autoria.

A análise visual anterior nos leva a acreditar que o ganho do grupo experimental é, de fato, maior do que aquele do grupo controle. Conforme descrito na seção 4.2.2, a fim de avaliar nossa hipótese, conduzimos um teste inferencial. Para definir o teste a ser utilizado, primeiramente avaliamos se as distribuições de ganho são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado do

teste de normalidade indicou que o ganho do grupo experimental é normal ($W = 0,9351$; $p\text{-value} = 0,1269$) e que o ganho do grupo controle não é normal ($W = 0,8864$; $p\text{-value} = 0,009381$).

Com esses resultados, aplicamos o teste não-paramétrico de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) para avaliarmos se o ganho do grupo experimental é significativamente maior do que o grupo controle. **O resultado do teste apontou que o ganho do grupo experimental é, de fato, significativamente maior do que o ganho do grupo controle** ($W = 519,5$; $p\text{-value} = 4,145e-06$). A partir destas análises e levando em consideração as nossas hipóteses citadas na seção 4.2.2, **podemos rejeitar a hipótese nula e aceitar a hipótese alternativa.**

Para o teste de “tamanho do efeito”, o Delta de Cliff obtido foi de 0,73. Este valor é considerado “grande” na escala apresentada na seção 4.2.2, ou seja, os valores do ganho do grupo experimental são frequentemente maiores do que os valores do ganho do grupo controle. Assim, concluímos que o jogo promoveu uma melhora na habilidade de orientação espacial dos estudantes do grupo experimental, aquele que utilizou o corpo como um todo. Este resultado evidencia a influência da cognição incorporada no desenvolvimento da habilidade espacial de orientação espacial.

5.1.1.1 Orientação espacial separada por gênero

Na literatura há uma proposição amplamente aceita de que há diferenças entre os gêneros feminino e masculino quando se trata do pensamento espacial. Evidências empíricas apontam que crianças do gênero masculino possuem certa vantagem em testes de habilidades espaciais se comparado com crianças do gênero feminino (KERNS; A.BERENBAUM, 1991). Entretanto, essa diferença desaparece quando se treina estas habilidades oferecendo as mesmas oportunidades de desenvolvimento (HOFFMAN; GNEEZY; LIST, 2011; TZURIEL; EGOZI, 2010; YANG; CHEN, 2010). Desta forma, decidimos realizar uma análise dos pré-testes dos estudantes do grupo experimental, os separando em dois grupos baseados pelo gênero do estudante: o grupo do gênero feminino e o grupo do gênero masculino. Nos *boxplots* a seguir (Figura 19), apresentamos as duas distribuições.

Figura 19. *Boxplots* dos resultados do pré-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo preliminar.

Fonte: própria autoria.

É possível identificar diferenças entre as duas distribuições. Em particular, talvez a que mais chame atenção é a diferença entre as amplitudes interquartílicas entre as duas distribuições. A mediana do grupo feminino é 0, enquanto que a mediana do grupo masculino é 1,50. Ainda, o resultado máximo do pré-teste do grupo masculino (5) é também maior do que o máximo do grupo feminino (4). Ainda, o grupo masculino apresenta um primeiro quartil (0,25) maior do que o terceiro quartil do grupo feminino (0).

Com a finalidade de avaliar os argumentos presentes na literatura, conduzimos um teste inferencial. Analogamente à análise anterior, realizamos um teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado do teste de normalidade indicou que a distribuição do grupo feminino não é normal ($W = 0,3657$, $p\text{-value} = 1,004e-07$), enquanto que a do grupo masculino é normal ($W = 0,8895$, $p\text{-value} = 0,0796$).

Desta forma, aplicamos um teste não-paramétrico de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) para avaliarmos se o grupo masculino teve uma pontuação no pré-teste significativamente maior do que a do grupo feminino. O resultado indica que, de fato isso ocorre ($W = 109$, $p\text{-value} = 0,006818$), **ou seja, os estudantes do gênero masculino tiveram uma performance significativamente maior no pré-teste do que as estudantes do gênero feminino.**

Com estes resultados, optamos por avaliar a *performance* destes mesmos estudantes no pós-teste com a finalidade de verificar se esta diferença persistiu após a intervenção. Nos *boxplots* (Figura 20) a seguir, apresentamos as duas distribuições:

Figura 20. *Boxplots* dos resultados do pós-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo preliminar.

Fonte: autoria própria.

Apesar de não tão evidentes, é possível identificar pequenas diferenças entre as duas distribuições. Em particular, a mediana do grupo feminino é 5, enquanto que a mediana do grupo masculino é 7. Ainda, o ganho máximo no grupo masculino (10) é também maior do que o máximo do grupo feminino (9).

Para avaliarmos os argumentos presentes na literatura de que as habilidades espaciais podem ser treinadas a fim de minimizar as diferenças entre os gêneros, conduzimos um teste inferencial. O teste de normalidade de *Sapiro-Wilk* indicou que as duas distribuições são normais (grupo do gênero feminino: $W = 0,938$, $p\text{-value} = 0,5314$; grupo do gênero masculino: $W = 0,8986$, $p\text{-value} = 0,1076$).

Desta forma, aplicamos um teste t (não pareado, bicaudal) para avaliarmos se existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições. O resultado indica que não há tal diferença ($t = 1,0014$, $df = 20,715$, $p\text{-value} = 0,3282$), **ou seja, após o jogo, o desempenho das estudantes do gênero feminino atingiu resultado equivalente aos dos estudantes do gênero masculino na habilidade de orientação espacial**. Assim, concluímos que o jogo promoveu

uma melhora na habilidade de orientação espacial dos estudantes, que fez com que o grupo de estudantes do gênero feminino alcançasse a igualdade no desempenho no teste.

Esse resultado é consistente com a literatura e evidencia a importância de se considerar as habilidades espaciais no contexto escolar para a diminuição das diferenças entre os gêneros. É na infância que começamos a desenvolver estas habilidades e é também nesta etapa que começamos a experimentar as diferenças sociais entre os gêneros. Ao considerarmos a cultura machista que domina a nossa sociedade, é de extrema importância que se trabalhe de maneira profunda as questões de gênero na escola.

5.1.2 Orientação espacial na Califórnia

Neste caso, como não houve um grupo controle, optamos por apenas comparar a pontuação obtida no pós-teste com a pontuação obtida no pré-teste para avaliarmos se o resultado do pós-teste é significativamente superior ao resultado do pré-teste.

Nos *boxplots* a seguir (Figura 21), pode-se identificar diferenças entre as duas distribuições. Em particular, a mediana no pré-teste é igual a 4,5, já no pós-teste, a mediana aumenta para 8. Ainda, nota-se que o mínimo no pós-teste (7) é idêntico ao terceiro quartil do pré-teste. Por fim, o máximo no pós-teste (24) é também superior ao máximo no pré-teste (16).

Figura 21. *Boxplots* das pontuações obtidas no pré-teste e pós-teste para o teste de orientação espacial na Califórnia.

Fonte: autoria própria.

A análise anterior nos leva a crer que a pontuação no pós-teste é maior do que a pontuação no pré-teste. Para avaliarmos esta hipótese, conduzimos um teste inferencial. O

resultado do teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* indicou ambas as distribuições não são normais (Pré teste: $W = 0,8638$, $p\text{-value} = 0,001225$; Pós-teste: $W = 0,81$, $p\text{-value} = 0,0001001$).

Com esses resultados, aplicamos o teste não-paramétrico de *Wilcoxon* (pareado, unicaudal) para avaliarmos se o resultado do pós-teste é significativamente maior do que o resultado do pré-teste. O resultado do teste apontou que a pontuação no pós-teste é, de fato, significativamente maior do que a pontuação no pré-teste ($V = 378$, $p\text{-value} = 2,834e-06$). **Assim, concluímos que o jogo promoveu uma melhora na capacidade de orientação espacial dos estudantes.**

Para o teste de “tamanho do efeito”, o Delta de Cliff obtido foi de 0,82. Este valor é considerado “grande” na escala apresentada na seção 5.2.2, ou seja, as pontuações obtidas no pós-teste são frequentemente maiores do que as pontuações obtidas no pré-teste.

Apesar de reconhecermos as limitações do desenho experimental utilizado na Califórnia, que ameaçam principalmente a validade interna desta investigação, os resultados obtidos lá são consistentes com os resultados obtidos por nós em São Paulo. Desta forma, podemos ter uma confiabilidade maior na conclusão de que o jogo promoveu uma melhora na habilidade de orientação espacial dos estudantes que utilizaram o corpo como um todo, ou seja, a cognição incorporada influenciou no desenvolvimento da habilidade de orientação espacial dos estudantes neste caso.

5.1.3 Rotação mental

Para o teste de rotação mental (REDICK et al., 2012), também optamos por comparar os ganhos (resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste), conforme mencionado na seção 4.2.2.

Nos *boxplots* a seguir (Figura 22) não identificamos, visualmente, muitas diferenças entre os ganhos dos grupos. Estes apresentam uma mediana semelhante (grupo controle = 0 e grupo experimental = 0,5). Embora o primeiro quartil de ambos seja idêntico (1), o terceiro quartil do grupo experimental é maior (3) do que o do grupo controle (2).

Figura 22. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle e experimental para o teste de rotação mental do estudo preliminar.

Fonte: autoria própria.

A análise visual nos leva a crer que os ganhos são muito parecidos. Ainda assim, realizamos um teste inferencial para avaliarmos nossa hipótese. Conduzimos um teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0.05$) e o resultado indicou que ambas as distribuições não são normais (experimental: $W = 0.8265$, $p\text{-value} = 0.0008265$ e controle: $W = 0.8676$, $p\text{-value} = 0.003869$).

Assim, realizamos o teste não paramétrico de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) para avaliarmos se o ganho do grupo experimental é significativamente maior do que o ganho do grupo controle. **O resultado aponta que o ganho do grupo experimental não é significativamente maior do que o do grupo controle, isto é, não conseguimos rejeitar a hipótese nula** ($W = 308.5$, $p\text{-value} = 0.4357$). Além disso, para o teste de tamanho do efeito, o Delta de Cliff obtido foi de 0,02, o que é considerado insignificante de acordo com a escala.

Para entendermos melhor esse resultado, decidimos analisar isoladamente o resultado do pré-teste. No histograma a seguir (Figura 23), no qual o eixo x representa o número mínimo de acertos no pré-teste e o eixo y o percentual de estudantes que se enquadram na pontuação determinada, podemos notar que mais de 75% dos estudantes que participaram desta investigação acertaram pelo menos metade (8) das questões do pré-teste.

Figura 23. Gráfico de percentual cumulativo de estudantes por número mínimo de acertos do estudo preliminar.

Fonte: autoria própria.

Os alunos tiveram uma *performance* bastante razoável no pré-teste. Isso quer dizer que vários dos estudantes já possuíam a habilidade de rotação mental necessária para a execução deste tipo de teste. Além disso, como podemos observar no gráfico de bolhas a seguir (Figura 24), o ganho tende a diminuir conforme o resultado no pré-teste aumenta.

Figura 24. Gráfico de ganho por acertos no pré-teste para o teste de rotação mental do estudo preliminar. A linha tracejada indica uma regressão linear (tendência).

Fonte: autoria própria.

O estudo preliminar nos incentivou a conduzir uma investigação mais apurada acerca da habilidade espacial de rotação mental, que foi realizada no estudo final. Os resultados obtidos a partir deste estudo final estão descritos na próxima seção.

5.2 Resultados do estudo final

5.2.1 Rotação mental

Realizamos um outro estudo avaliando a rotação mental dos estudantes através do teste proposto por Susan Levine, em 1999 (EHRlich; LEVINE; GOLDIN-MEADOW, 2006; LEVINE et al., 1999). Com a finalidade de avaliar o quanto cada grupo melhorou o seu desempenho após a intervenção, também optamos por comparar os ganhos dos grupos, ou seja, o resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste (como citado na subseção 4.3.2).

Nos *boxplots* a seguir (Figura 25), pode-se identificar algumas diferenças entre as três distribuições. Em particular, a mediana do grupo experimental é 3, enquanto a do grupo controle 1 e a do grupo neutro 0. Além disso, o primeiro quartil do grupo experimental é maior do que os demais, sendo que a média do grupo experimental também maior do que as médias dos demais grupos (experimental: 3,04; controle: 1,23 e neutro: 0,59). Por fim, o ganho máximo no grupo experimental (11) é também maior do que o máximo dos demais grupos (controle: 6 e neutro: 2).

Figura 25. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para o teste de rotação mental do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Visualmente, o ganho do grupo experimental é maior dos que o ganho dos demais grupos. Com a finalidade de testar a nossa hipótese, conduzimos um teste inferencial.

Conduzimos um teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) e o resultado indicou que tanto o ganho do grupo experimental, quanto o do grupo controle são normais (experimental: $W = 0,9685$, $p\text{-value} = 0,2929$; controle: $W = 0,9647$, $p\text{-value} = 0,2063$), enquanto que o do grupo neutro não é normal ($W = 0,8536$, $p\text{-value} = 0,003931$).

Assim, conduzimos um teste de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) para verificarmos se as distribuições possuem diferença estatisticamente significativa. O resultado do teste apontou que existe esta diferença entre as distribuições ($\chi^2 = 16,3933$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0,0002756$).

Decidimos, portanto, avaliar as distribuições par a par para encontrarmos diferença significativa entre elas. Assim, utilizamos um teste de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) que, de fato, apontou que **o ganho do grupo experimental é significativamente maior que o do grupo controle** ($W = 1234$, $p\text{-value} = 0,001719$) e, além disso, **é significativamente maior do que o do grupo neutro** ($W = 727,5$, $p\text{-value} = 7,743e-05$). Desta forma, **rejeitamos a hipótese nula nos dois casos e aceitamos a hipótese alternativa**.

Ainda conduzimos o teste de “tamanho do efeito” para os pares. Comparando os valores do ganho do grupo experimental com o grupo controle, o delta de Cliff obtido foi de 0,36, valor considerado como médio na escala apresentada na seção 4.2.2. Os valores do ganho do grupo experimental são, na maior parte das vezes, maiores do que os valores do ganho do grupo controle. Já comparando os valores do grupo experimental com os do grupo neutro, temos um Delta de Cliff 0,57, um valor considerado grande na escala, assim, os valores do ganho do grupo experimental são frequentemente maiores do que os do grupo neutro. **Desta forma, concluimos que o jogo promoveu uma melhora na habilidade de orientação espacial dos estudantes do grupo experimental, aquele que utilizou o corpo como um todo**. Este resultado evidencia a influência da cognição incorporada no desenvolvimento da habilidade espacial de rotação mental.

5.2.1.1 Rotação mental separada por gênero

Assim como no estudo preliminar, também analisamos a rotação mental dos estudantes para encontrarmos possíveis diferenças entre os gêneros. Desta forma, separamos os dados dos estudantes do grupo experimental no pré-teste de acordo com o seu gênero. Nos *boxplots* a seguir (Figura 26) apresentamos as duas distribuições.

Figura 26. *Boxplots* dos resultados do pré-teste dos estudantes do gênero feminino e do gênero masculino no estudo final.

Fonte: autoria própria.

Uma análise visual nos leva a crer que a distribuição do grupo do gênero masculino é maior do que a do feminino. Em particular, a mediana do grupo feminino é 9,5, enquanto que a mediana do grupo masculino é 11. Ainda, o resultado máximo do pré-teste no grupo masculino (14) é também maior do que o máximo do grupo feminino (12).

Com a finalidade de avaliar os argumentos presentes na literatura, conduzimos um teste inferencial. Aplicamos o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) que indicou que a distribuição do grupo feminino não é normal ($W = 0,8451$, $p\text{-value} = 0,004411$), enquanto que a do grupo masculino é normal ($W = 0,9303$, $p\text{-value} = 0,1243$).

Desta forma, aplicamos um teste não-paramétrico de *Mann-Withney* (não pareado, unicaudal) para avaliarmos se o grupo masculino teve uma pontuação no pré-teste significativamente maior do que do grupo feminino. **O resultado indica que não há esta diferença** ($W = 290,5$, $p\text{-value} = 0,07524$), ou seja, os estudantes do gênero masculino não tiveram uma *performance* significativamente maior no pré-teste do que os estudantes do gênero feminino. Desta forma, não confirmamos os argumentos presentes na literatura neste estudo. Entretanto, vale ressaltar que não há ainda uma lista ou qualquer informação presente na literatura que indique quais são, exatamente, as habilidades espaciais consideradas em testes que os estudantes de ambos os gêneros possuíram notas equivalente. Assim, salientamos a necessidade de investigações mais aprofundadas acerca do tema.

5.2.2 Matemática

Antes de apresentarmos as análises dos ganhos nos testes de matemática que envolveram tratamento da informação e espaço e forma vale ressaltar que, como cada questão possui um propósito diferente, iremos analisá-las separadamente. As questões utilizadas como pré-teste se encontram no Anexo A.

Questão 1) A primeira questão trata de um gráfico de barra simples com informações em unidades. Gostaríamos de, nesta questão, termos um diagnóstico da capacidade dos estudantes em leitura de gráfico simples. Nos *boxplots* a seguir (Figura 27), não notamos diferenças entre as distribuições. A mediana dos ganhos dos três grupos é igual a zero, sendo a média do grupo experimental igual a média do grupo controle (0,16).

Figura 27. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 1 do teste de matemática do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Apesar de não termos encontrado diferenças visualmente entre as distribuições, ainda assim conduzimos um teste inferencial. Primeiramente avaliamos se as distribuições de ganho são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado deste teste indicou que as distribuições não são normais (experimental: $W = 0,6754$, $p\text{-value} = 2,305e-08$; controle: $W = 0,7377$, $p\text{-value} = 2,638e-07$ e neutro: $W = 0,503$, $p\text{-value} = 1,402e-07$).

Assim, conduzimos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* para avaliar se existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos (não pareado, bicaudal). **O resultado do teste apontou que, de fato, não existe esta diferença** (chi-squared = 6,8231, $df = 3$, $p\text{-value} = 0,07776$). **Desta forma, não conseguimos rejeitar a hipótese nula.**

Entretanto, como a média de ganhos dos três grupos foi muito próxima a zero, decidimos analisar o pré-teste. A média de acertos no pré-teste, no geral é de 3,43, sendo 3,30 a média de acertos do grupo experimental ($\sigma = 1,35$), 3,57 a do grupo controle ($\sigma = 0,95$) e 3,40 a do grupo neutro ($\sigma = 1,15$). A média de acertos é considerada alta, pois a questão possui 4 itens. Assim, concluímos que os estudantes, em geral, já possuíam a habilidade que os permitem ler informações em gráficos de barra simples.

Questão 2) Para a segunda questão do teste, em um dos itens, foi necessário que o estudante compreendesse uma informação implícita no gráfico, tanto no pré-teste, quanto no pós-teste. Além disso, dois outros itens questionaram quais eram as maiores e menores frequências e estas apresentaram informações ocultas.

Nos *boxplots* a seguir (Figura 28), diferentemente da primeira questão, as distribuições dos ganhos apresentam uma amplitude interquartílica maior. Não notamos grandes diferenças entre as distribuições. No caso, a mediana dos três grupos é a mesma (0), sendo a média do grupo experimental, 0,19, ligeiramente maior do que as dos demais grupos (controle: 0,16 e neutro: -0,31). Além disso, os mínimos dos três grupos são iguais (-2).

Figura 28. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 2 do teste de matemática do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Ainda assim conduzimos um teste inferencial para verificarmos se existe diferença estatisticamente significativa. Para definirmos o teste a ser utilizado, primeiramente avaliamos se as distribuições de ganho são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) que indicou que as distribuições não são

normais (experimental: $W = 0,906$, $p\text{-value} = 0,00219$; controle: $W = 0,918$, $p\text{-value} = 0,005197$ e neutro: $W = 0,8679$, $p\text{-value} = 0,007147$).

A partir destes resultados, conduzimos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) e **o resultado do teste indicou que, de fato, não existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições** ($\chi^2 = 4,8295$, $df = 3$, $p\text{-value} = 0,1847$). **Desta forma, não conseguimos rejeitar a hipótese nula.**

Nós também conduzimos aqui um teste de “tamanho do efeito” para as distribuições par a par. Comparando os ganhos do grupo experimental, o Delta de Cliff obtido foi de 0, considerado negligenciável na escala. Já comparando as distribuições do grupo experimental com as do grupo neutro, o Delta de Cliff obtido foi de 0,23, considerado pequeno, ou seja, uma, uma pequena parcela dos valores do ganho do grupo experimental é frequentemente maior do que os valores do ganho do grupo neutro.

Questão 3) Para a terceira questão, dois dos quatro itens requerem que os estudantes encontrem informações implícitas no gráfico. Nos *boxplots* a seguir (Figura 29), claramente podemos encontrar diferenças visíveis entre as distribuições. O ganho do grupo experimental aparenta ser maior do que os ganhos dos demais grupos.

Figura 29. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 3 do teste de matemática do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Basicamente, a maior diferença que podemos observar é que o terceiro quartil do grupo experimental (2) é maior do que os dos demais grupos (0). Além disso, o ganho máximo do grupo experimental (4) é também maior do que os dos demais (controle: 3 e neutro: 2).

Assim, decidimos realizar um teste inferencial para verificar se existe diferença estatisticamente significativa.

Primeiramente, utilizamos o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$) que indicou que as distribuições não são normais (experimental: $W = 0,7935$, $p\text{-value} = 3,227e-06$; controle: $W = 0,8407$, $p\text{-value} = 3,697e-05$ e neutro: $W = 0,7441$, $p\text{-value} = 7,524e-05$).

Assim, conduzimos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) e **o resultado do teste indicou que existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições** ($\chi^2 = 10.4855$, $df = 3$, $p\text{-value} = 0.01486$). Com este resultado, optamos por analisar estatisticamente as distribuições par a par.

Conduzimos, então, testes não-paramétricos de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) entre as distribuições para verificar a nossa hipótese. Os resultados indicam que **o ganho do grupo experimental é, de fato, significativamente maior do que o do grupo controle** ($W = 1133,5$, $p\text{-value} = 0,005601$), **assim rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa neste caso**. Entretanto, **o ganho do grupo experimental não é significativamente maior do que o ganho do grupo neutro** ($W = 560$, $p\text{-value} = 0,05756$), assim, **neste segundo caso, não conseguimos rejeitar a hipótese nula**.

Apesar do ganho do grupo experimental não ser significativamente maior do que o ganho do grupo neutro, para o teste de “tamanho do efeito”, o Delta de Cliff obtido foi de 0,21, um valor considerado pequeno na escala, assim uma pequena parcela dos valores do ganho do grupo experimental é frequentemente maior do que os valores do ganho do grupo neutro.

Questão 4) A quarta questão envolveu o conceito de simetria. Nesta, os estudantes circularam dentre quatro figuras as que possuíam algum tipo de simetria. Nos *boxplots* a seguir (Figura 30), podemos observar as distribuições dos ganhos de cada grupo. Particularmente a amplitude interquartílica do grupo controle é maior, apesar das distribuições dos três grupos apresentarem a mesma mediana (0). A média do ganho do grupo experimental (0,23) é maior do que a média dos demais (controle: -0,09 e neutro: 0,18) e, além disso, o ganho do grupo experimental apresenta um máximo (4) também maior do que os ganhos dos demais grupos (controle: 3 e neutro: 2).

Figura 30. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 4 do teste de matemática do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Com a finalidade de avaliar a nossa hipótese, conduzimos um teste inferencial. Assim, primeiramente avaliamos se as distribuições de ganho são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado do teste indicou que os ganhos dos três grupos não são normais (experimental: $W = 0,8485$, $p\text{-value} = 5,748e-05$; controle: $W = 0,9452$, $p\text{-value} = 0,04349$ e grupo neutro: $W = 0,9013$, $p\text{-value} = 0,03156$)

Com esses resultados, aplicamos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) para avaliarmos se existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições. **O resultado do teste indicou que não existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições** ($\chi^2 = 1,6066$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0,4478$), **assim, não conseguimos rejeitar a hipótese nula.**

Consideramos ainda realizar um teste de “tamanho do efeito” par a par para investigarmos possível diferença entre as distribuições. As comparações apresentaram um Delta de Cliff considerado negligenciável na escala (experimental e controle: 0,13; experimental e neutro: -0,02). Assim, os valores do ganho do grupo experimental não são frequentemente maiores do que os valores dos ganhos dos demais grupos.

Questão 5) Para a quinta e última questão deste teste, os alunos completaram uma outra metade de um desenho de forma simétrica em um papel quadriculado. Nos *boxplots* a seguir (Figura 31) apresentamos as distribuições dos ganhos de cada grupo para esta questão. Aparentemente, as amplitudes interquartílicas dos ganhos dos grupos de controle e neutro são

parecidas, ambas possuem o primeiro quartil de 0,00, assim como o ganho do grupo experimental, e ambas também possuem um terceiro quartil idêntico (2). A distribuição do grupo controle é a que apresenta uma maior média (0,93), seguida do grupo neutro (0,81) e por fim, o grupo experimental (0,59).

Figura 31. *Boxplots* dos ganhos dos grupos de controle, experimental e neutro para a Questão 5 do teste de matemática do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Com a finalidade de avaliar se existe alguma diferença estatisticamente significativa entre as distribuições, conduzimos um teste inferencial. Assim, primeiramente avaliamos se as distribuições dos ganhos são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado do teste indicou que os ganhos dos três grupos não são normais (experimental: $W = 0,9115$, $p\text{-value} = 0,003229$; controle: $W = 0,9474$, $p\text{-value} = 0,0481$ e grupo neutro: $W = 0,8959$, $p\text{-value} = 0,02459$).

Com esses resultados, aplicamos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) e **o resultado do teste indicou que não existe diferença estatisticamente significativa entre as distribuições** ($\chi^2 = 1,8179$, $df = 2$, $p\text{-value} = 0,4029$), assim, **não conseguimos rejeitar a hipótese nula**.

Consideramos ainda realizar um teste de “tamanho do efeito” par a par para investigarmos possíveis diferenças entre as distribuições. Comparando os valores dos ganhos grupo experimental com os do grupo neutro, o Delta de Cliff obtido foi de 0,16, que é considerado pequeno na escala. Comparando o ganho do grupo experimental com o do controle, obtivemos um Delta de Cliff: 0,13, que é considerado negligenciável.

Desta forma, sintetizando os nossos resultados para o teste de matemática:

- Questão 1 (gráfico de barra simples): não existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos.
- Questão 2 (gráfico de barra simples com informações implícitas): não existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos.
- Questão 3 (gráfico de barra simples com informações implícitas em dezenas): **O ganho do grupo experimental é significativamente maior do que o do grupo de controle, mas não é significativamente maior do que o do grupo neutro.**
- Questão 4 (simetria): não existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos.
- Questão 5 (aplicação do conceito de simetria): não existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos.

5.2.3 Plano cartesiano

Para o teste do plano cartesiano também optamos por comparar o resultado do pós-teste menos o resultado do pré-teste, ou seja, o quanto cada grupo melhorou seu desempenho após o jogo, ou como chamamos, ganho.

Nos *boxplots* a seguir (Figura 32), pode-se identificar diferenças entre as três distribuições. Em particular, a mediana do grupo controle é 3, enquanto a do experimental é 1 e a do neutro é 0. Ainda, nota-se que o primeiro quartil do grupo controle é maior do que o terceiro quartil dos demais grupos. Por fim, o ganho máximo no grupo controle (7) é também maior do que o máximo do grupo experimental (5).

Figura 32. *Boxplots* dos ganhos dos grupos controle, experimental e neutro para o teste do plano cartesiano do estudo final.

Fonte: autoria própria.

A análise visual anterior nos leva a acreditar que o ganho do grupo experimental não é maior do que aquele do grupo controle. Conforme descrito na seção 4.2.2, a fim de avaliar nossa hipótese, conduzimos um teste inferencial. Para definirmos o teste a ser utilizado, primeiramente avaliamos se as distribuições de ganho são normais utilizando o teste de normalidade de *Shapiro-Wilk* com um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). O resultado teste indicou que os ganhos dos grupos experimental e neutro são normais (experimental: $W = 0,794$, $p\text{-value} = 0,005785$; neutro: $W = 0,2215$, $p\text{-value} = 7,417e-10$) e que o ganho do grupo controle é normal ($W = 0,9198$, $p\text{-value} = 0,3167$).

Com esses resultados, aplicamos o teste não-paramétrico de *Kruskal-Wallis* (não pareado, bicaudal) para avaliarmos se existe diferença estatisticamente significativa entre os ganhos dos grupos. O resultado do teste apontou que, de fato, existe essa diferença ($\chi^2 = 26.6941$, $df = 3$, $p\text{-value} = 6.824e-06$).

Assim, para testarmos a nossa hipótese, conduzimos não paramétricos de *Mann-Whitney* (não pareado, unicaudal) par a par. **O resultado do primeiro teste indicou que o ganho do grupo experimental, de fato, não é maior do que o do grupo controle** ($W = 36$, $p\text{-value} = 0,9836$). Assim, neste caso, **não conseguimos rejeitar a hipótese nula**. Além disso, conduzimos um teste de “tamanho do efeito” e o Delta de Cliff obtido foi de -0,49. Este valor é considerado “grande” na escala apresentada na seção 4.2.2, ou seja, os valores do ganho do grupo controle ainda são frequentemente maiores do que os valores do ganho do grupo experimental.

Esse resultado nos chama atenção pois difere do esperado. Uma possível explicação seria a proximidade da tarefa com a questão em si. Ao usar o corpo, aprende-se implicitamente o conceito. Contudo, o grupo controle, praticamente reconstrói exatamente a questão do plano cartesiano, de modo que essa “prática” pode ter facilitado a realização da questão, aumentando o desempenho. Ou seja, o tipo de questão foi influenciado pela semelhança com a tarefa da atividade.

Já o segundo teste, comparando as distribuições do ganho do grupo experimental e do grupo neutro, indicou que **o ganho do grupo experimental é significativamente maior do que o do grupo neutro** ($W = 223$, $p\text{-value} = 0,0001113$), então, neste caso, rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa. Para o teste de “tamanho do efeito”, o Delta de Cliff obtido foi de 0,55. Este valor é considerado “grande” na escala apresentada na seção 4.2.2, ou seja, os valores do ganho do grupo experimental são frequentemente maiores do que os valores do ganho do grupo de neutro.

Desta forma, concluimos que o jogo possui propriedades positivas para um primeiro contato com o plano cartesiano. Particularmente, em nossas observações, percebemos que no pós-teste os estudantes, tanto do grupo experimental quanto do grupo controle, relacionavam o jogo com o plano cartesiano. Um estudante chegou a mencionar “ah, os números das letrinhas são as regrinhas do jogo e o quadrado aqui embaixo é o campo, né?!”. A Figura 33 é do pós-teste de uma estudante do grupo experimental.

Figura 33. Imagem do teste do plano cartesiano de uma estudante do grupo experimental do estudo final.

Fonte: autoria própria.

Apesar do jogo, da forma como proposto para o grupo experimental, não ter sido o fator que determinou o desenvolvimento da habilidade dos estudantes em plotar pontos em um plano cartesiano, visto que não conseguimos rejeitar a hipótese nula quando comparamos as distribuições de ganho do grupo experimental e controle, compreendemos que a ideia por trás do jogo é uma boa ferramenta para ensinarmos os estudantes sobre o assunto.

5.2.4 Mapa

Neste teste, ao entregarmos os mapas aos estudantes, nós os filmamos de cima, com a câmera alcançando não apenas os ombros e cabeça, mas também a folha que continha o mapa. A finalidade era, não apenas captarmos os movimentos corporais, mas alguma fala ou algum comportamento que pudesse indicar que os estudantes estivessem fazendo o uso de habilidades espaciais.

De início não notamos diferenças relevantes entre o comportamento dos estudantes antes e após a atividade, tanto no grupo experimental quanto no grupo controle. Basicamente, a *performance* dos estudantes não sofreu grandes variações neste teste após a atividade. Entretanto, destacaremos aqui alguns casos que fugiram do padrão e algumas observações e relatos da pesquisadora.

No geral, os estudantes de ambos os grupos não utilizaram muitas habilidades verbais para a explicação das rotas. Ao contrário, quase todos os estudantes, de ambos os grupos, apontaram o caminho arrastando o dedo indicador sobre a folha como se estivessem utilizando uma caneta para demarcar as ruas. Esta forma de indicar a rota certamente foi influenciada, em grande parte, pelas atividades realizadas pelos alunos nas aulas. Analisando o livro didático utilizado pelos estudantes, podemos notar que eles realizam algumas atividades nas quais há um labirinto ou uma espécie de matriz e devem indicar alguma rota dentro destes, apenas rabiscando-a com um lápis.

Apesar do fato de que quase todos os estudantes apontaram a rota da forma mencionada, vale ressaltar algumas peculiaridades. Notamos que aqueles estudantes que se expressavam mais durante a atividade e que conversavam mais com o restante da turma e com os aplicadores do jogo, salvas raras exceções, foram os que mais utilizaram habilidades verbais. A maioria destes utilizava apenas palavras simples como “aqui”, e “vira aqui” tanto no pré-teste, quanto no pós-teste.

Uma das estudantes do grupo controle, por exemplo, apontando para o mapa e enquanto arrastava o seu dedo para mostrar a rota, dizia “aqui, depois aqui, eu venho aqui, vou buscar o meu amigo e aí eu chego aqui”. Uma outra estudante do grupo controle, a única que não apontou e arrastou o dedo sobre o mapa, fez uma demonstração da rota como se estivesse andando sobre o mapa em tamanho ampliado no chão tanto no pré-teste, quanto no pós-teste. Enquanto esta estudante andava ela dizia apenas “para cá, para cá...”. Este fato, um pouco curioso, talvez tenha uma explicação prática. Antes da nossa intervenção, o corpo de Bombeiros realizou um projeto na escola na qual não temos muito conhecimento, entretanto, os estudantes tinham um mapa desenhado no chão e caminhavam sobre ele. Apesar deste fato, esta foi a única estudante que explicou a rota desta forma.

Para o grupo experimental também gostaríamos de destacar a *performance* de dois estudantes. O primeiro, além de apontar para a rota como faziam os demais, foi o estudante que mais utilizou habilidades verbais para a explicação da rota. Transcrevemos aqui parte de sua fala no pré-teste: “eu venho até aqui embaixo, subo até aqui, viro e subo aqui, virava, giro aqui, subia, pegava ela, ia, pegava ele, voltava por aqui e chegava na escola”. No pós-teste, este estudante utilizou ainda mais as suas habilidades verbais. Também transcrevemos um trecho de sua fala: “Agora eu vinha aqui por baixo, virava no lugar do ônibus, subia de volta, descia e entrava por aqui. A escola [inaudível], então eu já vinha por aqui, depois eu desço, viro para cá, subo, subo de novo, dou a volta, passo pela escola, depois eu venho para cá, viro e subo, venho aqui e pego ela, venho aqui embaixo e pego ele, dou meia-volta, subo, desço e chego aqui”.

A fala deste estudante revela alguns fatos importantes. Não podemos dizer que o jogo tenha causado uma melhora em sua habilidade em explicar rotas visto que não houve grande diferença entre o pré-teste e pós-teste, entretanto, o estudante utiliza palavras como “desço” ou “aqui embaixo” para lugares do mapa que se aproximam dele e “subo” para lugares que se distanciam dele, revelando, de acordo com a literatura, que o estudante pode estar fazendo o uso da cognição incorporada.

Um segundo estudante do grupo experimental também utilizou algumas habilidades verbais no pré-teste e pós-teste e, vale destacar, que também utilizou a palavra “subo” para se referir a lugares no mapa que estavam se afastando dele. Entretanto, este estudante, no pós-teste, antes de explicar a rota analisou o mapa cautelosamente e deitou a cabeça para o lado como se estivesse tentando minimizar alguma rotação mental necessária para compreender a rota, como na Figura 34.

Figura 34. Frames de dois momentos de um estudante do grupo experimental explicando uma rota no estudo final.

Fonte: autoria própria.

Nós não encontramos diferenças relevantes entre o pré-teste e o pós-teste dos estudantes de ambos os grupos e acreditamos que este resultado possa ter sido influenciado pelo fato de que não limitamos a forma do estudante em explicar a rota. Ao dizer “como você faria

para chegar na escola”, o estudante poderia explicar da forma que melhor lhe conviesse. Assim, os estudantes tiveram a opção de explicar a rota da forma que estão acostumados.

5.3 As ameaças à validade

Gostaríamos de, nesta seção, discutir as limitações enfrentadas que influenciaram diretamente na validade dos nossos estudos e como lidamos com elas. Assim, separamos esta seção pelo tipo de validade (interna, externa e de construto).

Iniciando com as ameaças à validade interna, as separaremos da seguinte forma: história, maturação, efeito-teste, instrumentação e efeito de seleção.

1) História: apesar do curto período de tempo entre a aplicação do pré e pós-teste, nós não conseguiríamos distinguir o que seria de fato resultado da intervenção realizada ou de algum conteúdo trabalhado em sala de aula ou até mesmo do desenvolvimento de determinadas habilidades fora do espaço escolar. Entretanto, conseguimos controlar de certa forma este tipo de ameaça ao envolvermos diferentes turmas, de diferentes contextos. Em especial, o experimento de controle mínimo conduzido na Califórnia se apresenta mais problemático neste aspecto, entretanto, vale ressaltar que essa é uma ameaça constante em qualquer estudo dessa natureza, realizado de maneira naturalística em ambiente real de sala de aula.

2) Maturação: em uma das escolas envolvidas tivemos uma limitação física. Todas as escolas possuíam uma quadra poliesportiva, entretanto, este espaço era destinado para as aulas da disciplina de Educação Física. Desta forma, tínhamos o pátio para desenhar o campo de jogo e executar a atividade com os estudantes. Todavia, uma das escolas possui um pátio extremamente estreito como ilustrado na Figura 35, o que dificultou a aplicação do jogo, visto que, ao invés de quatro campos de jogo, como em todas as outras escolas, tínhamos apenas três, aumentando o número de alunos por campo. Além disso, um dos campos estava localizado ao ar livre, ficando exposto às condições climáticas do dia.

Figura 35. Pátio de uma das escolas.

Fonte: autoria própria.

Esta limitação nos trouxe algumas dificuldades. No primeiro dia de uma das turmas experimentais do segundo estudo, por exemplo, o dia estava ensolarado e isso causou um certo desconforto em alguns dos estudantes quando sentavam fora da sombra. Nós resolvemos este fato realocando estes estudantes para os outros lados do campo de jogo.

Além disso, o número ideal de estudantes por campo de jogo é de cinco: quatro estudantes executando o papel de “observadores” (um em cada extremidade do eixo) e um estudante executando o papel de “saltador” (no centro do campo). Como as turmas tinham, em média, vinte e sete estudantes, este fato nos impossibilitou de realizar o jogo nos moldes propostos, visto que éramos em quatro aplicadores. Este fato fez com que a aplicação do jogo se tornasse um pouco menos dinâmica do que esperávamos, pois dávamos atenção às dificuldades individuais de cada estudante.

Vale ressaltar que, apesar destes fatos mencionados, a receptividade dos estudantes com relação ao jogo foi bastante boa. A maior parte dos estudantes comemorava a nossa presença e nos questionava quando seria a próxima rodada do jogo.

3) Efeito-teste: os estudantes, na realização do pré-teste, podem ter aprendido ou memorizado algo que possa ter interferido nos resultados do pós-teste. Entretanto, tivemos o cuidado em minimizar esse efeito ao modificarmos os itens contidos no pós-teste.

4) Instrumentação: para o teste de rotação mental do estudo final não foi possível a mesma pessoa aplicar e corrigir os pré e pós-testes visto o grande número de participantes e o tempo necessário para sua realização. Entretanto, este teste não apresenta dificuldades em seu entendimento e, além disso, envolve apenas imagens. Mesmo assim, nós padronizamos o

discurso para que cada aplicador proferisse exatamente as mesmas palavras, evitando qualquer diferença de interpretação no momento de realização dos testes.

5) Efeitos de seleção: compreendemos que a aleatorização dos sujeitos é a melhor forma de assegurar a validade interna de uma investigação. Entretanto, considerando a escola real, isso não foi possível. Tratando-se dos estudos realizados em São Paulo, optamos por utilizar diferentes turmas de diferentes escolas para termos um número de sujeitos relevante para a nossa investigação. Apesar da atividade ocorrer no horário de aula, cada uma das turmas possuía horários diferentes para determinadas disciplinas, como inglês, arte e educação física. Dada a baixa carga horária destas disciplinas, não éramos autorizados a aplicar a atividade (o jogo) nos horários destas disciplinas. Além dos horários das turmas não condizerem, fisicamente é impossível reunir mais de cem estudantes em um único local e nenhuma das escolas envolvidas possui espaço suficiente para tal. Nós também, nos dois experimentos conduzidos nas escolas do ABC, contamos com a ajuda de estudantes de graduação além de uma ajuda financeira custeada pelos autores desta dissertação. Considerando este fato, nós não teríamos condições financeiras de envolver mais estudantes para a aplicação do jogo.

Ao mesmo tempo, é preciso ressaltar que a escolha das escolas foi aleatória, sem o conhecimento prévio de onde ou quais instituições participariam da pesquisa. Apenas nos foi garantido que seriam escolas de perfis socioeconômicos semelhantes e iguais às outras escolas da rede pública.

Dadas todas estas dificuldades práticas, optamos por realizar um desenho *quasi-experimental* nos dois estudos com grupos não aleatorizados com pré e pós-testes. De acordo com Marczyk, DeMatteo e Festinger (2005):

Isto [a utilização de um desenho quasi-experimental] possui duas vantagens. Primeiro, com o uso de um pré-teste e um pós-teste, a precedência temporal da variável independente para a variável dependente pode ser estabelecida. Isso pode dar ao pesquisador mais confiança ao inferir que a variável independente foi responsável por mudanças na variável dependente. Em segundo lugar, o uso de um pré-teste permite ao pesquisador medir as diferenças entre os grupos antes da exposição à intervenção. Isso poderia reduzir substancialmente a ameaça de viés de seleção, revelando se os grupos diferiam na variável dependente antes da intervenção (MARCZYK; DEMATTEO; FESTINGER, 2005, p. 139, tradução nossa).

Vale destacar que não houve nenhum critério pré-estabelecido para as formações das turmas.

Para as ameaças à validade externa, discutiremos aqui cinco delas: características da amostra, reatividade de arranjos experimentais, reatividade da avaliação e efeito novidade.

1) Características da amostra: os estudos foram conduzidos em cinco diferentes escolas: quatro delas no mesmo município e uma na Califórnia. As escolas do mesmo município, em São Paulo, se localizam fisicamente afastadas umas das outras e possuem contextos sociais e econômicos semelhantes. Ainda assim, foi possível observar, de maneira anedótica, algumas diferenças no comportamento dos estudantes. Em geral, no segundo estudo, quando acabávamos as atividades programadas para o dia esperávamos os outros grupos terminarem antes de deixá-los na sala de aula com a professora. Assim, tínhamos contato com os estudantes e, nesse momento, perguntávamos do que eles mais gostavam de brincar fora da escola. As respostas, das mais variadas, geralmente envolvia questões do contexto pessoal. Por exemplo, na escola central a maior parte dos estudantes gostava de brincar com tecnologia (celular, *tablet*, videogame e computador), já na escola mais periférica a maior parte dos estudantes, com algumas exceções, mencionava brincadeiras de rua (como pega-pega e esconde-esconde). Ao mesmo tempo, ao se olhar os dados obtidos na Califórnia, apesar de contextos sociais e econômicos bastantes distintos, nós obtivemos resultados similares. Portanto, temos uma boa margem de chance de que esse estudo possa ser aplicado em outros grupos de diferentes contextos e os mesmos resultados poderão ser observados.

2) Reatividade de arranjos experimentais: antes de aplicarmos os nossos estudos realizamos uma reunião de pais explicando o contexto da pesquisa e aplicando um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Após a autorização dos pais, conversávamos com os estudantes sobre o jogo e explicitávamos que eles estavam participando de um estudo de pesquisa. A maior parte dos estudantes não possui uma ideia muito clara do que significa isto e mesmo após explicarmos, eles não possuíam ideia da dimensão do que estava sendo feito. Portanto, tal comportamento parece indicar que o fato do estudante saber que está participando de um estudo não influenciou sobremaneira seu desempenho.

3) Reatividade da avaliação: nós explicitamos aos estudantes que iríamos aplicar algumas atividades antes e depois do jogo (que no caso são os pré e pós-testes) para saber o jogo teria os ajudado a aprender mais. Além disso, deixamos claro que não estávamos avaliando cada estudante individualmente. Como a aplicação dos testes causa um certo clima de “prova”, também mencionamos o fato de que eles deveriam responder da forma como sabiam e que, se caso errassem, não haveria problema, pois isso quer dizer que o jogo não funcionou bem para ele. Com isso, qualquer “erro” seria proveniente do jogo e não uma indicação de que ele não sabia determinado tópico. Dessa forma, acreditamos que, acalmando os estudantes que possivelmente estariam preocupados com o fato de estarem sendo avaliados, eles não tiveram o seu desempenho alterado.

4) Efeito novidade: a maior parte dos coordenadores das escolas que participaram do estudo mencionou que, pelo fato das atividades ocorrerem fora da sala de aula, os alunos poderiam ter um interesse maior na participação já que quase todas as aulas ocorrem dentro da sala (com exceção às aulas de Educação Física). Entretanto esta é uma realidade da maioria das escolas públicas brasileiras, sendo assim algo impossível de se remediar.

Ainda para o efeito novidade, devemos considerar que nós, os aplicadores do jogo, éramos pessoas diferentes do cotidiano escolar e os estudantes não estavam, inicialmente, acostumados com a nossa presença. Em outras palavras, nós participávamos apenas dos momentos divertidos nos quais eles podiam sair da sala para realizar uma atividade externa. Infelizmente este é um efeito que não possuímos controle.

Há uma grande chance de que tais fatores tenham influenciado na participação dos estudantes na pesquisa. Contudo, é preciso ficar claro que isso ocorreu para todos os grupos estudados. Assim, se houve influência, afetou a todos, não enviesando nossos resultados.

Sobre a validade de construto, a teoria que fundamentou este estudo possui bases empíricas e teóricas bastante sólidas, além de termos encontrado alguns trabalhos que possuem relação com o que fizemos nesta pesquisa. Fora isso, realizamos mais de um estudo com diferentes testes e, com alguma exceção justificada, a variável independente confirmou as hipóteses esperadas. Desta forma, acreditamos que a razão da relação entre as variáveis independente e dependente é explicada pela teoria que fundamentou a construção deste trabalho.

Por fim, como ressaltamos anteriormente, a rotina escolar é imprevisível, mas de qualquer forma temos que lidar com ela. Isso quer dizer que mesmo o estudante estando, por exemplo, gripado, não ter se alimentado bem naquele dia ou até mesmo não ter dormido as horas necessárias para estar bem, o professor lida e leciona diariamente com todas essas dificuldades e adversidades. Assim, ao se realizar um estudo em uma escola real, com as condições reais e concretas do ensino público brasileiro é impossível controlar todas as limitações para que, ao final, não tenhamos nenhuma ameaça à validade de nossos resultados. Esse é o grande desafio a ser enfrentado nas pesquisas naturalísticas com seres humanos em ambientes educacionais.

CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pensamento espacial desempenha um forte papel na aprendizagem de ciências e matemática e no desenvolvimento do pensamento científico. Existem diversas evidências apontadas na literatura que ressaltam esta relação (NEWCOMBE; HUTTENLOCHER, 2003; NEWCOMBE, 2010; NRC, 2006; WITELSON; KIGAR; HARVEY, 1999). Apesar disso, o nosso relacionamento com o espaço e o seu entendimento como algo com propriedades têm sido praticamente negligenciados por diversas áreas do conhecimento, em especial o ensino de ciências. Ao considerarmos a educação científica, tradicionalmente se opta por ensinar e, conseqüentemente, entender o espaço como algo completamente abstrato, ignorando todos os seus atributos. Assim, visando diminuir essa lacuna, é preciso buscar o desenvolvimento do pensamento espacial, que pode ser aprimorado por meio de intervenções que requerem o uso de habilidades espaciais, que são as bases que sustentam esse tipo de pensamento.

Simultaneamente, ao se investigar os mais diversos processos cognitivos, surgem teorias que abordam uma cognição incorporada. Elas consideram, diferentemente da forma com que tradicionalmente se considera a cognição, que tais processos estão fortemente ligados aos sentidos e a comportamentos motores (ADAM; GALINSKY, 2012; DESUTTER; STIEFF, 2017). Atualmente, há inúmeras pesquisas que sugerem que as experiências sensoriais podem ser a base do conhecimento humano.

Desta forma, considerando que é por meio da extração de informações do espaço pelos nossos sentidos que pensamos espacialmente, criamos uma atividade em formato de jogo (*math-e-motion*), entrelaçando, assim, o pensamento espacial e a cognição incorporada. Nesta pesquisa, conduzimos dois diferentes estudos. O primeiro, realizado tanto no Brasil quanto nos Estados Unidos, investigou a influência do jogo nas habilidades espaciais de rotação mental e orientação espacial. Já o segundo investigou sua relação com a habilidade de rotação mental, questões matemáticas de tratamento da informação, espaço, forma e plano cartesiano, e habilidades espaciais que envolvem leitura de mapa. O principal objetivo destes estudos foi desenvolver, implementar e analisar esta atividade buscando compreender o papel da cognição incorporada no desenvolvimento do pensamento espacial e de capacidades e habilidades matemáticas.

Os resultados indicaram que o *math-e-motion* promoveu o aprimoramento/desenvolvimento das habilidades de orientação espacial e rotação mental dos estudantes. Considerando a relação entre as habilidades espaciais e a aprendizagem de ciências

e matemática, este resultado é consistente com a literatura (LINK et al., 2013) e evidencia a necessidade de se considerar habilidades espaciais e a cognição incorporada no processo de ensino-aprendizagem.

Entretanto, temos consciência dos problemas concretos em se implementar no contexto escolar tais conteúdos. Sabemos, por exemplo, que a elaboração e adoção de planos de aulas ou de currículos que considerem estas duas teorias seriam processos altamente complexos. Compreendemos todas as dificuldades enfrentadas cotidianamente pelos professores que, na conjuntura atual da nossa educação, têm que lidar com inúmeros fatores (culturais, políticos, socioeconômicos etc.) que afetariam diretamente uma nova abordagem. Algo aparentemente simples, mas extremamente importante é considerar o número de alunos por sala de aula. Nossa atividade foi desenhada para cinco estudantes por cada aplicador do jogo. Entretanto, nas salas de aula das escolas brasileiras, muitas vezes, tem-se apenas um professor para gerenciar uma turma com grande quantidade de alunos, algumas vezes com cerca de 40 estudantes. Seria, então, necessário desenhar estratégias muito além daquela que empregamos nessa pesquisa. Isso significa, propor uma discussão profunda com a sociedade, discutindo desde o currículo escolar até às políticas públicas de formação de professores e estruturação das escolas. O que é, infelizmente, praticamente utópico em nosso país.

Além disso, por fatores históricos, o corpo é altamente negligenciado em nossa sociedade. Essa negação do corpo acaba refletindo diretamente nos espaços escolares. Talvez a ideia mais difundida entre os professores seja a de que uma boa turma, “em ordem”, melhor preparada para aprender seja aquela na qual todos os estudantes estejam sentados e quietos em suas carteiras, com o corpo imobilizado. A dicotomia mente-corpo nos leva a crer que para a aprendizagem ocorrer é necessário silenciar o corpo. Tais crenças dificultam a discussão necessária sobre o papel do sistema sensório-motor na aprendizagem e a consideração da cognição incorporada nos espaços escolares. Nossos resultados convidam educadores e pesquisadores a refletirem sobre tais posicionamentos e, principalmente, abrem as portas para novas formas de se considerar e investigar os processos cognitivos.

Outro resultado importante obtido na nossa investigação foi que o *math-e-motion* reduziu a diferença no desempenho das habilidades de orientação espacial entre os gêneros feminino e masculino. Na nossa sociedade, na qual a cultura machista está enraizada (HOFFMAN; GNEEZY; LIST, 2011; LETA, 2003), é importante considerarmos e compreendermos como reduzir quaisquer diferenças entre os gêneros para que possamos atingir a igualdade que tanto se busca a fim de acabar com as discriminações e injustiças.

Vale ressaltar que, para as habilidades de rotação mental, não encontramos diferenças entre o desempenho das estudantes do gênero feminino e a dos estudantes do gênero masculino. Este resultado se destaca por não ser o esperado, dadas as evidências encontradas na literatura. Nesse sentido, nosso trabalho aponta para a realização de outros estudos que investiguem mais profundamente as diferenças entre os gêneros nas habilidades espaciais. Cabe, principalmente, um levantamento sobre quais são as habilidades em que os gêneros se diferenciam para que possamos, futuramente, desenvolvê-las buscando a igualdade.

Os resultados obtidos nessa pesquisa também revelaram que o jogo promoveu uma melhora na capacidade de leitura de gráficos com informações implícitas dos estudantes, apesar de nossa investigação estar limitada apenas a algumas capacidades e habilidades presentes nos testes que utilizamos. Tal limitação ocorreu de forma consciente, visto que sabíamos que os estudantes se sentiriam sobrecarregados com a quantidade de testes. Ou seja, limitamos as possibilidades de investigações de nossa pesquisa considerando o bem-estar dos alunos. Entretanto, nossos resultados apontam para a importância de investigações mais aprofundadas sobre o desenvolvimento de habilidades matemáticas, a cognição incorporada e o pensamento espacial.

Além disso, vale ressaltar que, é quase inexistente pesquisas que envolvam a aprendizagem de ciências, o pensamento espacial e a cognição incorporada. São poucas as abordagens que investigam estas relações em condições reais de sala de aula, contribuindo, assim, para a prática escolar e para o desenvolvimento do conhecimento na área de ensino de ciências. Em nosso caso, dada limitações de financiamento e tempo, por tratar-se de um projeto de mestrado, fomos impossibilitados de realizar um estudo longitudinal e seguir a trajetória dos estudantes ao longo dos anos. Entretanto, acreditamos que projetos como o *Project Talent*, que além do suporte financeiro possuem uma equipe ampla, possam contribuir diretamente com o aprofundamento de nosso conhecimento teórico sobre o tema com reflexos direto na melhoria da aprendizagem nas escolas.

Por fim, acreditamos que nossa investigação contribui para o início de uma discussão mais profunda e cientificamente embasada acerca do papel do corpo na aprendizagem. Consideramos que a cognição incorporada e o pensamento espacial possuem vínculos bem estabelecidos e que são dois campos do conhecimento que podem contribuir fortemente com a aprendizagem, principalmente de ciências e matemática. Com isso, esperamos que mais pesquisas sejam conduzidas, gerando resultados que possam contribuir para a formulação de novas estratégias adequadas para a situação real da sala de aula atual.

REFERÊNCIAS¹⁰

- ADAM, H.; GALINSKY, A. D. Enclothed cognition. **Journal of Experimental Social Psychology**, v. 48, n. 4, p. 918-925, 2012.
- AIZAWA, K. Extended cognition. In: SHAPIRO, L. (Ed.). **The routledge handbook of embodied cognition**. New York: Routledge, 2014. p. 31-38.
- ALIBALI, M. W.; NATHAN, M. J. Embodiment in Mathematics Teaching and Learning: Evidence From Learners' and Teachers' Gestures. **Journal of the Learning Sciences**, v. 21, n. 2, p. 247-286, 2012.
- AMIN, T. G.; JEPPSSON, F.; HAGLUND, J. Conceptual Metaphor and Embodied Cognition in Science Learning: Introduction to special issue. **International Journal of Science Education**, v. 37, n. 5-6, p. 745-758, 2015.
- ANTLE, A. N. Exploring How Children Use Their Hands to Think: An Embodied Interactional Analysis. **Behav. Inf. Technol.**, v. 32, n. 9, p. 938-954, set. 2013.
- AYDIN, K. et al. Increased Gray Matter Density in the Parietal Cortex of Mathematicians: A Voxel-Based Morphometry Study. **American Journal of Neuroradiology**, v. 28, n. 10, p. 1859-1864, 2007.
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais: ciências naturais/Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília: MEC/SEF, 1997a. p. 136
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais: matemática/Secretaria de Educação Fundamental**. Brasília: MEC/SEF, 1997b. p. 142
- BRASIL. **Relatório Educação para todos no Brasil 2000-2015: versão preliminar**. [s.l.] Ministério da Educação, 2014a.
- BRASIL. **A democratização e expansão da educação superior no país**. [s.l.] Ministério da Educação, 2014b.
- BRASIL. **Brasil no PISA 2015: análises e reflexões sobre o desempenho dos estudantes brasileiros**. Brasília: Fundação Santillana, 2016. p. 272
- BROCKE, J. VOM; ROSEMAN, M. **Metodologia de Pesquisa**. [s.l.] AMGH Editora, 2013. p. 617
- CARRAHER, T. N.; CARRAHER, D. W.; SCHILIMANN, A. D. Na vida, dez; na escola, zero: os contextos culturais da aprendizagem da matemática. **Cad. Pesq. São Paulo**, v. 42, p. 79-86, 1982.
- CLEMENTS, D. H.; SARAMA, J. Early childhood teacher education: the case of geometry. **Journal of Mathematics Teacher Education**, v. 14, n. 2, p. 133-148, 1 abr. 2011.

¹⁰ De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 6023).

COLLING, A. A construção histórica do feminino e do masculino. In: STREY, M. N.; CABEDA, S. T. L.; PREHN, D. R. (Eds.). **Gênero e cultura: questões contemporâneas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004. p. 13-38.

DAVYDOV, V. V. **Soviet Studies in Mathematics Education: Types of Generalization in Instruction: Logical and Psychological Problems in the Structuring of School Curricula**. Reston, Virginia: National Council of Teachers of Mathematics, 1990. p. 223

DEHAENE, S. **the number sense**. London: Penguin, 1997.

DEHAENE, S. Symbols and quantities in parietal cortex: elements of a mathematical theory of number representation and manipulation. In: HAGGARD, PATRICK YVES ROSSETTI; KAWATO, M. (Eds.). **Sensorimotor Foundations of Higher Cognition**. Oxford: Oxford University Press, 2007. p. 527-574.

DESUTTER, D.; STIEFF, M. Teaching students to think spatially through embodied actions: Design principles for learning environments in science, technology, engineering, and mathematics. **Cognitive Research**, v. 2, n. 1, p. 1-20, 2017.

EERLAND, A.; GUADALUPE, T. M.; ZWAAN, R. A. Leaning to the Left Makes the Eiffel Tower Seem Smaller: Posture-Modulated Estimation. **Psychological Science**, v. 22, n. 12, p. 1511-1514, 2011.

EHRlich, S. B.; LEVINE, S. C.; GOLDIN-MEADOW, S. The importance of gesture in children's spatial reasoning. **Developmental Psychology**, v. 42, p. 1259-1268, 2006.

GALLAGHER, S. Phenomenology and embodied cognition. In: SHAPIRO, L. (Ed.). **The routledge handbook of embodied cognition**. New York: Routledge, 2014. p. 9-18.

GIBBS JR., R. W. **Embodiment and cognitive science**. [s.l.] Cambridge University Press, 2005. p. 348

GRISSOM, R. J.; KIM, J. J. **Effect sizes for research**. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 2005. p. 253

HEGARTY, M.; WALLER, D. A dissociation between mental rotation and perspective-taking spatial abilities. **Intelligence**, v. 32, p. 175-191, 2004.

HOFFMAN, M.; GNEEZY, U.; LIST, J. A. Nurture affects gender differences in spatial abilities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 36, p. 14786-14788, 2011.

IZARD, V. et al. Newborn infants perceive abstract numbers. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 25, p. 10382-10385, 2009.

JAMMER, M. **Conceito de espaço: a história das teorias do espaço na física**. Rio de Janeiro: Contraponto Editora, 2010. p. 324

KERNS, K. A.; ABERENBAUM, S. Sex differences in spatial ability in children. **Behavior Genetics**, v. 21, n. 4, p. 383-396, 1 jul. 1991.

KRASA, N.; SHUNKWILER, S. **Number Sense and Number Nonsense: Understanding the Challenges of Learning Math**. [s.l.] Paul H. Brookes Publishing Company, 2009. p. 227

LAKOFF, G.; JOHNSON, M. **Metaphors we live by**. [s.l.] University of Chicago press, 2008. p. 256

LANE, T. B. Beyond Academic and Social Integration: Understanding the Impact of a STEM Enrichment Program on the Retention and Degree Attainment of Underrepresented Students. **CBE-Life Sciences Education**, v. 15, n. 3, 2016.

LETA, J. As mulheres na ciência brasileira: crescimento, contrastes e um perfil de sucesso. **Estudos Avançados**, v. 17, p. 271-284, 2003.

LEVINE, S. C. et al. Early sex differences in spatial skill. **Developmental Psychology**, v. 35, n. 4, p. 940-949, 1999.

LINK, T. et al. Walk the number line – An embodied training of numerical concepts. **Trends in Neuroscience and Education**, v. 2, n. 2, p. 74-84, 2013.

MALTBY, J. L. et al. Long Term Benefits for Women in a Science, Technology, Engineering, and Mathematics Living-Learning Community. **Learning Communities Research and Practice**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2016.

MARCZYK, G.; DEMATTEO, D.; FESTINGER, D. **Essentials of research design and methodology**. New Jersey: John Wiley and Sons, 2005. p. 290

METOYER, S. K.; BEDNARZ, S. W.; BEDNARZ, R. S. Spatial Thinking in Education: Concepts, Development, and Assessment. In: MUNIZ SOLARI, O.; DEMIRCI, A.; SCHEE, J. (Eds.). **Geospatial Technologies and Geography Education in a Changing World: Geospatial Practices and Lessons Learned**. Tokyo: Springer Japan, 2015. p. 21-33.

MILES, L. K.; NIND, L. K.; MACRAE, C. N. Moving Through Time. **Psychological Science**, v. 21, n. 2, p. 222-223, 2010.

NETO, L. C. **Os interesses e posturas de jovens alunos frente às ciências: resultados do projeto ROSE aplicado no Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

NEWCOMBE, N. S. Picture This: Increasing Math and Science Learning by Improving Spatial Thinkig. **American Educator**, v. 8, p. 29-43, 2010.

NEWCOMBE, N. S.; HUTTENLOCHER, J. **Making space: The development of spatial representation and reasoning**. [s.l.] MIT press, 2003. p. 276

NEWCOMBE, N. S.; HUTTENLOCHER, J. Making space: The development of spatial representation and reasoning. In: **Handbook of Child Psychology**. [s.l.] Wiley, 2006.

NRC, N. R. C. **Learning to Think Spatially**. Washington, DC: The National Academies Press, 2006.

OKASHA, S. **Philosophy of science: A very short introduction**. [s.l.] Oxford University Press, 2002. p. 160

OZKAYA, M.; GUNINDI, Y. Educational Use of Gesture-Based Technology in Early Childhood. In: **Developments in Educational sciences**. [s.l.] St. Kliment Ohridski University Press, 2016.

PERNA, L. W. et al. Identifying strategies for increasing degree attainment in STEM: Lessons from minority-serving institutions. **New Directions for Institutional Research**, v. 2010, n. 148, p. 41-51, 2010.

PINHAS, M.; POTHOS, E.; TZELGOV, J. Zooming in and out from the mental number line: evidence for a number range effect. **Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition**, v. 39, n. 3, p. 972-976, 2013.

PORTUGAL, F. H.; COHEN, J. S. **A Century of DNA: A History of the Discovery of the Structure and Function of the Genetic Substance**. [s.l.] MIT Press, 1977. p. 398

REDICK, T. S. et al. Measuring Working Memory Capacity With Automated Complex Span Tasks. **European Journal of Psychological Assessment**, v. 28, n. 3, p. 164-171, 2012.

RITCHIE, S. J. et al. Sex Differences In The Adult Human Brain: Evidence From 5,216 UK Biobank Participants. **bioRxiv**, 2017.

RIVERA, S. M. et al. Developmental Changes in Mental Arithmetic: Evidence for Increased Functional Specialization in the Left Inferior Parietal Cortex. **Cerebral Cortex**, v. 15, n. 11, p. 1779-1790, 2005.

SARAMAGO, J. **A caverna**. Alfragide: Editorial Caminho, 2000. p. 214

SHEPARD, R.; METZLER, J. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. **Science**, v. 171, n. 3972, p. 701-703, 1971.

SILVEIRA, M. R. A. Matemática é difícil: um sentido pré-construído evidenciado na fala dos professores. **Coletânea do Programa de Pós-Graduação em Educação (Cessou em 2000)**, v. 7, n. 21, p. 34-40, 1999.

SOARES, T. A. Mulheres em ciência e tecnologia: ascensão limitada. **Química Nova**, v. 24, p. 281-285, 2001.

TZURIEL, D.; EGOZI, G. Gender Differences in Spatial Ability of Young Children: The Effects of Training and Processing Strategies. **Child development**, v. 81, p. 1417-30, 2010.

UTTAL, D. H. et al. The malleability of spatial skills: a meta-analysis of training studies. **Psychological Bulletin**, v. 139, n. 2, p. 352-402, 2013.

UTTAL, D. H.; COHEN, C. A. **Spatial Thinking and STEM Education: When, Why, and How?** 2012

WAI, J.; LUBINSKI, D.; BENBOW, C. P. Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. **Journal of Educational Psychology**, v. 101, n. 4, p. 817-835, 2009.

WILSON, M. Six views of embodied cognition. **Psychonomic Bulletin & Review**, v. 9, n. 4, p. 625-636, 2002.

WITELSON, S. F.; KIGAR, D. L.; HARVEY, T. The exceptional brain of Albert Einstein. **The Lancet**, v. 353, n. 9170, p. 2194-2153, 1999.

WOMEN, C. C. ON THE ADVANCEMENT OF; SCIENCE, MINORITIES IN ENGINEERING; DEVELOPMENT, T. **Land of Plenty: Diversity as America's Competitive Edge in Science, Engineering, and Technology**. [s.l.] National Science Foundation, 2000.

YANG, J. C.; CHEN, S. Y. Effects of gender differences and spatial abilities within a digital pentominoes game. **Computers & Education**, v. 55, n. 3, p. 1220-1233, 2010.

ZUDINI, V.; ZUCCHERI, L. The Contribution of Ernst Mach to Embodied Cognition and Mathematics Education. **Science & Education**, v. 25, n. 5, p. 651-669, 1 ago. 2016.

ANEXOS

ANEXO A – Teste de matemática

Nome: _____ Idade: _____

Escola: _____ Turma: _____

1) Ana, uma aluna da turma, anotou quantas crianças gostavam de cada fruta: banana, maçã, pêsego, uva e morango. Ela construiu um gráfico para mostrar. Veja:

Quantas crianças preferem:

a) Banana? _____

b) Uva? _____

c) Morango? _____

d) E pêsego? _____

2) O diretor decidiu pintar a escola e fez uma votação entre os alunos para saber qual cor eles preferiam. As possibilidades de cores são: vermelho, castanho, laranja, verde, preto, roxo, rosa e azul. Ele anotou os resultados e construiu o gráfico. Veja:

a) Qual foi a cor mais votada? _____

- b) Quantas crianças preferem que a escola seja pintada de vermelho? _____
- c) Quantas crianças preferem que a escola seja pintada de laranja? _____
- d) Quais foram as cores menos votadas? _____

3) Augusto fez uma pesquisa para saber como os estudantes do terceiro ano aproveitam o tempo livre. Ele anotou o que os alunos responderam e construiu um gráfico. Veja:

Quantos alunos aproveitam o tempo livre

- a) Jogando videogame? _____
- b) Brincando de boneca? _____
- c) Jogando no celular? _____
- d) Praticando esportes? _____

4) Circule as figuras abaixo em que a linha pontilhada é um eixo de simetria

5) Complete as imagens simétricas:

a) Estrela

b) Barquinho

c) Casa

d) Árvore

ANEXO B – Teste do Plano Cartesiano

Nome: _____ Turma: _____

Escola: _____

Você está tomando uma sopa de letrinhas e o seu desafio é colocar cada letrinha em seu devido lugar no plano abaixo. A localização de cada uma das letras está indicada ao lado dela.

A (1,1), B (-1,3), C (4,2), D (3,-2), E (-2,-4), F(-5,5) e G(-3,-2)

ANEXO C – Mapas