

Bruna Silva Avelar

**MECANISMOS PERCEPTO-MOTORES EM CRIANÇAS COM
TRANSTORNO DE DÉFICIT DE ATENÇÃO COM HIPERATIVIDADE:
impacto no desempenho motor e cognitivo?**

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

2019

Bruna Silva Avelar

**MECANISMOS PERCEPTO-MOTORES EM CRIANÇAS COM
TRANSTORNO DE DÉFICIT DE ATENÇÃO COM HIPERATIVIDADE:
impacto no desempenho motor e cognitivo?**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências da Reabilitação.

Aérea de concentração: Desempenho Funcional Humano

Linha de Pesquisa: Avaliação do Desenvolvimento e Desempenho Infantil

Orientadora: Prof^a. Dra. Marisa Cotta Mancini

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Paula Lanna Pereira da Silva

Belo Horizonte

Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional

Universidade Federal de Minas Gerais

2019

A948d Avelar, Bruna Silva
2019 Mecanismos percepto-motores em crianças com transtorno de déficit de atenção com hiperatividade: impacto no desempenho motor e cognitivo? [manuscrito] / Bruna Silva Avelar – 2019.
117 f., enc. : il.

Orientadora: Marisa Cotta Mancini
Co-orientadora: Paula Lanna Pereira da Silva

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional.
Bibliografia: f. 91-96

1. Crianças deficientes – Teses. 2. Cognição – Teses. 3. Transtornos motores – Teses. 4. Capacidade motora – Teses. I. Mancini, Marisa Cotta. II. Silva, Paula Lanna Pereira da. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional. IV. Título.

CDU: 616.8



ATA DA DEFESA DE TESE DA ALUNA BRUNA SILVA AVELAR

Realizou-se, no dia 18 de março de 2019, às 08:30 horas, Auditório CTE, da Universidade Federal de Minas Gerais, a 78ª defesa de tese, intitulada *Mecanismos percepto-motores em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade: impacto no desempenho motor e cognitivo?*, apresentada por BRUNA SILVA AVELAR, número de registro 2015700980, graduada no curso de FISIOTERAPIA, como requisito parcial para a obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Marisa Cotta Mancini - Orientador (UFMG), Prof(a). Sérgio Teixeira da Fonseca (UFMG), Prof(a). Débora Marques de Miranda (UFMG), Prof(a). Sandra Maria Sbeghen Ferreira de Freitas (Universidade Cidade de São Paulo), Prof(a). Jonas Jardim de Paula (Faculdade de Ciências Médicas de Minas Gerais).

A Comissão considerou a tese:

Aprovada


Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.
Belo Horizonte, 18 de março de 2019.


Prof(a). Marisa Cotta Mancini (Doutor)


Prof(a). Sérgio Teixeira da Fonseca (Doutor)


Prof(a). Débora Marques de Miranda (Doutor)


Prof(a). Sandra Maria Sbeghen Ferreira de Freitas (Doutor)


Prof(a). Jonas Jardim de Paula (Doutor)



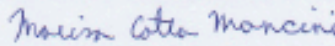
FOLHA DE APROVAÇÃO

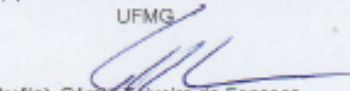
Mecanismos percepto-motores em crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade: impacto no desempenho motor e cognitivo?

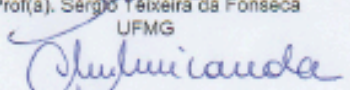
BRUNA SILVA AVELAR

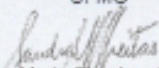
Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, como requisito para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO, área de concentração DESEMPENHO FUNCIONAL HUMANO.

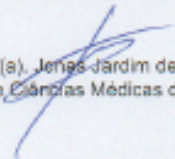
Aprovada em 18 de março de 2019, pela banca constituída pelos membros:


Prof(a). Marisa Cotta Mancini - Orientador
UFMG


Prof(a). Sérgio Teixeira da Fonseca
UFMG


Prof(a). Debora Marques de Miranda
UFMG


Prof(a). Sandra Maria Stegheh Ferreira de Freitas
Universidade Cidade de São Paulo


Prof(a). Jonas Jardim de Paula
Faculdade de Ciências Médicas de Minas Gerais

Belo Horizonte, 18 de março de 2019.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Marisa Cotta Mancini, por ter me acolhido e me assumido como sua aluna de doutorado com todo carinho e dedicação que você tem para com TODOS os seus alunos. Seu amor, paixão e devoção pela pesquisa é uma inspiração diária. Sinto eternamente grata pelo aprendizado e pelas oportunidades para além do projeto de doutorado. Muito obrigada pelos ensinamentos, conselhos, por me acompanhar, me guiar e me incentivar, mesmo em alguns momentos áridos na minha vida pessoal, como também diante às minhas aflições e cansaço. Obrigada por sempre se dispor, a qualquer dia e horário, para orientar e ajudar seus alunos. Sou orgulhosa de ser sua doutoranda e construir com você esse pedaço da minha vida acadêmica.

Agradeço à minha orientadora, Prof. Dra. Paula Lanna Pereira da Silva, que me acompanha há 10 anos. Tenho um orgulho e uma admiração eterna a você que SEMPRE esteve disponível para me ajudar e me guiar na pesquisa como na minha vida pessoal. Não esqueço quando você me disse: “Lembre que nossa distância será apenas física. De onde estiver, estaremos juntas”. E realmente foi dessa forma que prosseguimos. Obrigada pelas nossas milhões de conversas, via *WhatsApp* e *FaceTime*. Como agradeço a tecnologia! Obrigada por me acolher em Cincinnati, junto ao Prof. Michael Riley ao qual também sou eternamente grata, e tornar meu doutorado sanduíche um momento inesquecível. Obrigada pela orientação e o crescimento profissional e pessoal. Sua energia é contagiante, seu humor é revigorante, suas palavras são confortantes e seu talento para a pesquisa e para a vida é pleno, singular e admirável.

Agradeço aos meus familiares pelo apoio incondicional diário. Com certeza, o processo da pesquisa científica foi mais fácil com vocês ao meu lado. Mãe, obrigada por ser esse exemplo de mulher guerreira, batalhadora, paciente, professora e que me ensinou com maestria o valor da educação na vida do ser humano. Pai, obrigada por ser esse anjo que hoje me acompanha de algum lugar que não te vejo, mas que se faz tão presente nas minhas sensações, sonhos, sentimentos e emoções. Obrigada Gustavo, meu irmão querido, e sua linda família que me proporcionam maravilhosos e inesquecíveis momentos de descontração, farras, churrascos, viagens... TUDO com leveza e amor. Gú, obrigada por cuidar de mim seja lá onde for! Toninho, pai de vida, e Manu, minha irmã de vida, obrigada por estarem ao meu

lado e incondicionalmente me ajudarem com qualquer coisa que pudesse aliviar meu stress. Nossas piadas e risadas renovavam minhas energias diante as inúmeras horas no famoso “buraco” (escritório) lendo, escrevendo e me dedicando a pesquisa. À toda minha família (e anexos) muito obrigada pela torcida e nossos lindos momentos de confraternização. Amo vocês!

Agradeço aos meus amigos, pessoas únicas que escolhi para estarem ao meu lado. Amigos da infância, do colégio, da faculdade, aos novos amigos de Cincinnati, enfim, aos amigos da vida, sou ETERNAMENTE grata. Obrigada pelas risadas, pelas inesquecíveis festas, pelas eternas histórias, pela diversão em qualquer lugar e horário, pelo companheirismo e cumplicidade. Vocês são demais e agradeço a cada um que está do meu lado, que vibra pelas minhas conquistas, como agora com o doutorado. Obrigada pelo abraço apertado, pelo consolo, pela palavra e pelo amor durante esta trajetória. Assim como disse no mestrado, repito aqui: obrigada por serem simplesmente amigos!

Agradeço ao Ernane por me apoiar nesta trajetória e acreditar em mim e nos meus sonhos. Obrigada pelo carinho e a amizade eterna!

Agradeço às queridas alunas de iniciação científica Isabel Pires, Gabriela Silvestrini, Natália Rodrigues e Bruna Reis. Vocês foram os anjos nessa minha trajetória do doutorado. Obrigada pelo trabalho e convivência diária, pelas criativas ideias para a coleta de dados, pela disposição para angariarmos participantes, pelos os consolos e alegrias. Estivemos muito unidas e isso foi essencial para a construção desse projeto. Sou muito grata e orgulhosa de ter tido vocês na minha equipe de doutorado. Estendo também os meus agradecimentos a todos do grupo de alunas coordenadas pela Profa. Marisa Mancini. Nossas discussões são sempre momentos de rico aprendizado.

Agradeço às crianças e os familiares que me ajudaram a tornar esse projeto realidade. Cada história, cada nome, cada comportamento e cada conversa era um impulso para eu prosseguir com a pesquisa; uma motivação para encontrar novos caminhos que possibilitem entender essas crianças e suas dificuldades. Obrigada pela disponibilidade e confiança! Agradeço também ao NÍTIDA e, especialmente a Prof. Débora Miranda e o Prof. Marco Aurélio Romano Silva, pela acessibilidade aos participantes e por me ajudarem sempre com as minhas dúvidas nessa minha jornada na pesquisa científica com crianças com TDAH.

Agradeço ao Laboratório de Análise de Movimento (LAM) e todos os seus

integrantes, especialmente, ao Délcio e a Priscilla Albuquerque. Obrigada por me ajudarem com todas as etapas da coleta e do processamento de dados. O astral de vocês é motivador para sempre seguirmos em frente.

Agradeço aos professores que participaram da minha formação e que me ajudaram a dar mais um importante passo na vida acadêmica. Especialmente, agradeço ao Prof. Sérgio Fonseca e a Profa. Juliana Ocarino, constantemente envolvidos na minha trajetória científica desde a minha graduação na UFMG. Com certeza, devo a vocês o aprendizado, os novos olhares e o amor à pesquisa.

Agradeço aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação que sempre estiveram disponíveis e dispostos a solucionar as questões burocráticas durante o processo do doutorado.

Finalmente, agradeço à todos que de alguma forma contribuíram para esse projeto. Os meus sentimentos, se possíveis de serem traduzidos em palavras, perpassam por: “Obrigada”, “Gratidão” e “Desculpa”. Agradeço a todos que estiveram ao meu lado, tenho gratidão pelo o que a vida me proporcionou nessa trajetória e peço desculpas pelos meus erros que, com certeza foram muitos, mas que não deixei de aprender com eles e de aperfeiçoar com os meus acertos!

“A cada passo que avançamos, a cada problema que resolvemos, não apenas descobrimos novos problemas não solucionados como também descobrimos que, ali onde acreditamos pisar em terreno firme e seguro, tudo, na verdade é inseguro e fluído.”

Karl Popper, filósofo austríaco (1902-1994).

PREFÁCIO

Esta tese foi elaborada de acordo com as regras do Formato Opcional do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação da Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), mediante resolução N°004/2018, disponível no site do referido programa. Nesse formato, a primeira seção é composta da introdução em que é realizada uma revisão bibliográfica, problematização do tema, justificativa e são apresentados os objetivos e hipóteses da tese. A segunda seção consiste na apresentação dos dois artigos desenvolvidos que compõe esta tese. O primeiro artigo, "*Fractal fluctuations in exploratory patterns predict differences in dynamic touch capabilities between children with ADHD and typical development*", foi elaborado e submetido para o periódico internacional *PLOS ONE* (ISSN 1932-6203) e o segundo artigo, "*Postural flexibility predicts differences in motor and cognitive performance of children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder in a dual-task paradigm*", foi elaborado de acordo com as regras da *Journal of Attention Disorders* (ISSN 1087-0547) e será posteriormente submetido para publicação. As seções seguintes correspondem as considerações finais, as referências bibliográficas, apêndices e anexos. Nos apêndices estão os termos de consentimento livre e esclarecido e o termo de assentimento livre e esclarecido utilizados nos dois estudos, bem como informações detalhadas sobre o processamento de dados realizados nas variáveis de interesse da presente tese. Nos anexos encontram-se as aprovações dos estudos pelo comitê de ética em pesquisa da UFMG e alguns dos instrumentos utilizados na caracterização das amostras dessa tese. Por fim, é apresentado um minicurrículo do autor desta presente tese.

RESUMO

Os estudos apresentados nesta tese objetivaram investigar alterações nos mecanismos percepto-motores de crianças com transtorno de déficit de atenção com hiperatividade (TDAH) bem como o seu impacto no desempenho de tarefa motora e cognitiva. O primeiro estudo investigou alterações na habilidade perceptual háptica de crianças com TDAH. Especificamente, foi avaliado se estas crianças apresentam diferenças de desempenho em uma tarefa de percepção do comprimento, via tato dinâmico, quando comparadas às crianças com desenvolvimento normal (DN). Em acréscimo, se estas diferenças podem ser explicadas por diferenças nos padrões sutis de flutuações temporais que suportam a extração de informação relevante para o sucesso na percepção de propriedades do objeto, via tato dinâmico. Quarenta e duas crianças (Grupo TDAH: 21; Grupo DN: 21) foram solicitadas a perceber e informar, sem auxílio da visão, o comprimento de hastes que variaram em relação ao tamanho e a magnitude do primeiro momento principal de inércia (I_1). Deslocamentos tridimensionais das posições da mão e da haste foram submetidos à *Detrended Fluctuation Analysis* para estimar as correlações temporais. Modelo de regressão de efeito linear misto foi usado para estimar as contribuições de I_1 , correlações temporais do movimento exploratório (mão e haste), grupo (TDAH; DN) e as interações entre esses fatores no comprimento percebido (C_p) em cada tentativa da tarefa. Crianças com TDAH apresentaram menor C_p para hastes com maior I_1 , indicativo de sensibilidade reduzida à informação mecânica que suporta o tato dinâmico. Além disso, as correlações temporais moderaram o uso de I_1 pelas crianças no C_p . O segundo estudo objetivou investigar o impacto da flexibilidade postural na performance motora e cognitiva de crianças com TDAH. Especificamente, foi avaliado se crianças com TDAH apresentam uma flexibilidade postural reduzida durante a execução de uma tarefa dupla, e ainda, se esta flexibilidade pode explicar as diferenças de performance quando comparadas às crianças com DN. Trinta e quatro crianças (Grupo TDAH: 17; Grupo DN: 17) foram solicitadas a realizar concomitantemente uma tarefa de apontamento recíproco com dois níveis de demanda (menor/maior dificuldade) e a tarefa de *1-back* em cima de uma plataforma de força. A trajetória dos deslocamentos do centro de pressão foram submetidas a análise de entropia da amostra em cada condição experimental como operacionalização da flexibilidade postural. Duas análises de regressão testaram separadamente o valor preditivo da flexibilidade postural no desempenho motor e cognitivo dos participantes. Finalmente, análise de cluster agrupou as crianças em relação às variáveis desfecho do presente estudo. Crianças com TDAH apresentaram menor flexibilidade postural e, esta menor flexibilidade, por sua vez, explicou a pior performance motora e cognitiva comparadas às crianças com DN. Além disso, comportamento motor e cognitivo distintos foram verificados nas crianças com TDAH e nas crianças com DN. Os resultados de ambos os estudos indicam que crianças com TDAH apresentam déficits nos mecanismos percepto-motores que suportam a organização da ação, o que auxilia para o entendimento das dificuldades funcionais dessas crianças. Esse conhecimento contribui para ampliar os procedimentos de avaliação e adequar planos de intervenção destinados para essa condição de saúde.

Palavras-chave: Transtorno de déficit de atenção com hiperatividade. Percepção

háptica. Tato dinâmico. Flexibilidade postural. Desempenho motor. Desempenho cognitivo.

ABSTRACT

The studies presented in this dissertation aimed to investigate deficits in the perceptual-motor mechanisms of children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) as well as its impact on motor and cognitive task performance. The first study investigated deficits in the perceptual ability of children with ADHD. Specifically, it was evaluated whether these children show differences in performance in perceiving the length by dynamic touch when compared to typical development (TD) children. And yet, if these differences can be explained by differences in the subtle patterns of temporal fluctuations that support the extraction of information relevant to success in the perception of object properties by dynamic touch. Forty-two children (ADHD Group: 21; TD Group: 21) were asked to perceive and inform, without assistance of vision, the length of rods that varied in relation to length and magnitude of the first main moment of inertia (I_1). Three-dimensional displacements of hand and rod positions were submitted to Detrended Fluctuation Analysis to estimate trial-by-trial temporal correlations. Linear mixed-effect regression model was used to estimate the contributions of I_1 , wielding dynamics (fractal scaling of hand and rod), Group (ADHD, TD), and the interactions between these factors to trial-by-trial variations in length reports. Children with ADHD reported shorter length for rods with higher I_1 , indicative of reduced sensitivity to mechanical information supporting dynamic touch. In addition, temporal correlations in wielding dynamics moderated children's usage of I_1 . The second study aimed to investigate the impact of postural flexibility on the motor and cognitive performance of children with ADHD. Specifically, it was evaluated whether children with ADHD had reduced postural flexibility during the execution of a dual-task, and if this flexibility could explain differences in performance when compared to TD children. Thirty-four children (ADHD group: 17; TD Group: 17) were asked to perform concurrently a reciprocal aiming task with two levels of demand (lower / higher difficulty) and a 1-back task on a force plate. The displacement of the center of pressure was submitted to Sample Entropy analysis in each experimental condition to measure the postural flexibility. Two linear regression models tested the predictive value of postural flexibility on motor and cognitive performance separately. Finally, cluster analysis characterized the children in relation to the outcome variables of the present study. Children with ADHD had lower postural flexibility, and this lower flexibility, in turn, explained the worse motor and cognitive performance compared to TD children. In addition, different motor and cognitive behaviors were verified in children with ADHD and TD children. The results of both studies indicate that children with ADHD have deficits in the perceptual-motor mechanisms that support the organization of the action, which helps to understand the functional difficulties of these children. This knowledge contributes to broadening the evaluation procedures and adjusting intervention plans for this health condition.

Keywords: Attention deficit disorder with hyperactivity. Haptic perception. Dynamic touch. Postural flexibility. Motor performance. Cognitive performance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Apresentação geral do problema	15
1.2 Estudo 1: Fundamentação teórica e justificativa	18
1.3 Estudo 2: Fundamentação teórica e justificativa	22
2 OBJETIVOS	27
2.1 Estudo 1	27
2.1.1 Objetivo Geral	27
2.1.2 Objetivos Específicos.....	27
2.2 Estudo 2.....	27
2.2.1 Objetivo Geral	27
2.2.2 Objetivos Específicos.....	28
3 HIPÓTESES	29
3.1 Hipótese do Estudo 1.....	29
3.2 Hipótese do Estudo 2.....	29
4 ARTIGO 1	30
5 ARTIGO 2	54
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	91
APÊNDICE A	97
APÊNDICE B	98
APÊNDICE C	99
APÊNDICE D	100
APÊNDICE E	101
APÊNDICE F	103
APÊNDICE G	106
APÊNDICE H	108
ANEXO A	110
ANEXO B	111
ANEXO C	112
ANEXO D	113
MINICURRÍCULO DO DISCENTE	114

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação geral do problema

O Transtorno de Déficit de Atenção com Hiperatividade (TDAH) é um transtorno psiquiátrico caracterizado primariamente por deficiências neuropsicológicas e cognitivo-comportamentais (HARPIN, 2005; KAWABATA, TSENG, GAU, 2012; GARNER *et al.*, 2013). Estima-se que a prevalência mundial do TDAH é de 5%, com predominância no sexo masculino, sendo considerado o transtorno neurodesenvolvimental mais comum da infância (POLANCZYK *et al.*, 2007). Os sintomas característicos deste transtorno incluem a desatenção, hiperatividade e/ou impulsividade vivenciadas em dois ou mais contextos, como a casa e a escola (APA, 2014). A falta de atenção é manifestada pela dificuldade de planejamento, foco, organização e cumprimento de tarefas (APA, 2014). A hiperatividade se manifesta pela incapacidade do indivíduo de manter-se sentado quando necessário e de brincar de forma calma, além da movimentação excessiva em locais inapropriados (APA, 2014). A impulsividade, por sua vez, se manifesta na impaciência, dificuldade de esperar a vez, respostas precipitadas e intromissões em ações de terceiros (APA, 2014).

Frente a estes sintomas cognitivo-comportamentais, crianças com TDAH exibem alterações neuropsicológicas que comprometem as habilidades cognitivas. Estas alterações são comumente manifestadas pelas dificuldades nas tarefas que envolvem a atenção e a função executiva, incluindo atenção seletiva, atenção sustentada, memória de trabalho e inibição de resposta (FUERMAIER *et al.*, 2015; THOME *et al.*, 2012; TUCHA *et al.*, 2008; LANGE *et al.*, 2014). Além dos sintomas cognitivo-comportamentais e os déficits nas habilidades cognitivas, estima-se que dificuldades de desempenho motor estão presentes em cerca de 30 a 50% das crianças com TDAH (KAISER *et al.*, 2015). Deficiências motoras, como dificuldades nas habilidades motoras grossas (e.g., saltar, pular, chutar) (KAISER *et al.*, 2015; MAO *et al.*, 2014; TSENG *et al.*, 2004; PAN, TSAI & CHU, 2009) e finas (e.g. atividades de escrita, desenho, uso de pinça) (BROSSARD-RACINE *et al.*, 2011; KLOTZ *et al.*, 2012; SCHAROUN *et al.*, 2013; ROSCH *et al.*, 2013) também são observadas nos indivíduos com TDAH independente de comorbidades como o transtorno do desenvolvimento da coordenação (TDC) (KAISER *et al.*, 2015).

Diversos estudos evidenciam que as dificuldades motoras das crianças com TDAH, associadas às características comportamentais, relacionam-se à dificuldades em atividades de vida diária (BROSSARD-RACINE *et al.*, 2011; JUNOD *et al.*, 2006; LAWRENCE *et al.*, 2002; PAN *et al.*, 2009). Grande parte destas atividades envolvem o manuseio de objetos e ferramentas, como escovar os dentes, usar os talheres nas refeições, agarrar uma bola, escrever e desenhar com um lápis. Um adequado desempenho nestas atividades depende, dentre outros fatores, da capacidade do indivíduo de perceber propriedades do objeto, como o comprimento, peso, ou até mesmo sua orientação em relação à mão ou ao ambiente (TURVEY, 1996; CARELLO, TURVEY, 2000). A capacidade de perceber propriedades de objetos implica primariamente o sistema perceptual háptico, e mais especificamente, um de seus subsistemas: o tato dinâmico (PAGANO, CARELLO, TURVEY, 1996; TURVEY, 1996; CARELLO *et al.*, 2008).

O tato dinâmico é sensível ao padrão de tensão e deformação de músculos, tendões e outros tecidos conectivos que ocorrem quando interagimos com objetos (GIBSON, 1966). Esses padrões de tensão e deformação são estruturados pelas propriedades dos objetos e, portanto, constituem informação sobre as mesmas. Através dessa informação gerada pelo esforço muscular, o tato dinâmico nos fornece a capacidade de perceber objetos e suas propriedades (GIBSON, 1966; TURVEY, 1998). Essa percepção suporta o ajuste preciso do padrão e magnitude de forças musculares às dimensões dos objetos durante o desempenho de tarefas manuais, sem demanda de atenção visual. Assim, o foco de atenção visual pode ser voltado a outros aspectos relevantes da atividade. Durante a escrita, por exemplo, o tato dinâmico ajuda no manejo da movimentação do lápis enquanto a atenção visual pode ser desviada para a avaliação do conteúdo produzido. Desta forma, é possível que os prejuízos funcionais encontrados em crianças com TDAH, no que se refere ao manuseio de objetos utilizados nas tarefas diárias, possam ser atribuídos às alterações na habilidade perceptual háptica neste grupo de crianças.

Outra característica das crianças com TDAH que impacta no cumprimento de funções diárias é a movimentação desorganizada e desajeitada denominada *clumsiness* (MORUZZI *et al.*, 2010; KAISER *et al.*, 2015). Diferente de outras condições clínicas, por exemplo, paralisia cerebral e síndrome de Down, a característica de movimentação dessas crianças não se configura por um repertório restrito. Uma implicação desse comportamento é que medidas diretas de

desempenho, por exemplo, testes que informam sobre aquisição de habilidades motoras, parecem não serem sensíveis para capturar a desorganização dessas crianças (OZONOFF *et al.*, 2007; KROES *et al.*, 2002). A identificação da desorganização motora requer a avaliação de características que expressem detalhes envolvidos na organização do movimento. Neste caso, uma possível candidata é a flexibilidade postural.

A flexibilidade postural é definida como a capacidade do indivíduo de modificar, variar e adaptar a postura de maneira apropriada ao ambiente de execução da tarefa (BUSQUESTS *et al.*, 2016; WILSON *et al.*, 2008; DAVIDS, 2003). Indispensável para a organização do movimento na realização de tarefas, a flexibilidade postural é manifestada por variações na estrutura temporal da trajetória do centro de pressão (COP), local aonde o vetor da força de reação do solo atua. Por exemplo, para realizar uma tarefa de alcance, ajustes antecipatórios nas variações temporais da estrutura do COP ocorrem para garantir a manutenção do centro de massa dentro da superfície de apoio e, conseqüentemente, assegurar a estabilidade para a realização do movimento (JUCAITE *et al.*, 2003; FRANK & EARL, 1990). Além disso, algumas pesquisas destacam o papel da flexibilidade postural no sucesso na execução de tarefas (BUSQUESTS *et al.*, 2016; WILSON *et al.*, 2008; DAVIDS, 2003). Atletas habilidosos, por exemplo, apresentam uma performance de sucesso, não porque mantêm rotineiramente a mesma variabilidade do movimento (i.e., menor flexibilidade postural), mas sim, porque são capazes de variar constantemente a postura de maneira harmônica com o contexto da tarefa (BUSQUESTS *et al.*, 2016; WILSON *et al.*, 2008). Sendo assim, diante da importância da flexibilidade postural para o sucesso no desempenho de tarefas, é possível pressupor que este seja um elemento que também permeie as dificuldades de crianças com TDAH. Especificamente, reduzida flexibilidade postural que não permite adequada organização do movimento no contexto da atividade, pode explicar as dificuldades funcionais apresentadas por estas crianças, especialmente em tarefas que envolvem o engajamento simultâneo de componentes motores e cognitivos que, portanto, são mais desafiadoras para esta população (MANICOLO, GROB, ARX, 2017; LEITNER, 2007; LAWRENCE *et al.*, 2002).

A discussão acima sugere que deficiências percepto-motoras podem contribuir para as dificuldades de desempenho motor e cognitivo apresentadas por indivíduos com TDAH. A presente tese irá examinar essa proposição através de dois

estudos formulados para testar diretamente duas hipóteses derivadas dessa proposição: (1) Crianças com TDAH possuem deficiência perceptual háptica (Estudo 1) e (2) Crianças com TDAH apresentam uma reduzida flexibilidade postural que explica as dificuldades de desempenho motor e cognitivo (Estudo 2). Portanto, os dois estudos, em conjunto, servirão como uma avaliação inicial do possível impacto de alterações percepto-motores na funcionalidade de crianças com TDAH.

1.2 Estudo 1: Fundamentação teórica e justificativa

Tradicionalmente, a capacidade perceptual háptica é avaliada por meio da percepção do comprimento de objetos via tato dinâmico (SOLOMON, TURVEY, 1988; SOLOMON, TURVEY, BURTON, 1989; TURVEY, 1996; FITZPATRICK, CARELLO, TURVEY, 1994; SHIMIZU, NORIMATSU, 2005). Nesta tarefa, indivíduos utilizam exclusivamente o esforço muscular envolvido na movimentação de objetos seguros na mão e, fora do campo visual, para perceberem o comprimento dos mesmos. Especificamente, os indivíduos são solicitados a segurar firmemente cada objeto e movimenta-los livremente sem modificar o ponto de contato mecânico com este objeto. Tipicamente, hastes cilíndricas de diferentes comprimentos são utilizadas nesta tarefa. A capacidade dos indivíduos de perceberem o comprimento das hastes está pautada em uma relação física entre a resistência que objetos oferecem à sua aceleração rotacional, ou seja, o momento de inércia (I) e o seu comprimento. Particularmente, o comprimento (C) de hastes cilíndricas é proporcional a resistência que elas oferecem à aceleração rotacional em torno dos eixos perpendiculares ao seu eixo longitudinal (I). A forma dessa relação física seria $C = a(I)^b$, onde $b = 1/3$. Portanto, I é a variável informacional que pode ser extraída via esforço muscular para perceber a propriedade de objetos (e.g., comprimento) e b é um índice que expressa a utilização precisa dessa informação.

Evidências revelam que a capacidade de perceber o comprimento de um objeto cilíndrico através do tato dinâmico se relaciona com o I do objeto que está sendo manipulado, por exemplo, mediante alterações na distribuição de massa das hastes cilíndricas. De maneira geral, os resultados evidenciam que os indivíduos são capazes de perceber o comprimento das hastes e que o comprimento percebido (C_p) aumenta conforme é aumentada a distância do ponto de concentração da massa ao

eixo de rotação (SOLOMON, TURVEY, 1988; SOLOMON, TURVEY, BURTON, 1989; TURVEY, 1996; FITZPATRICK, CARELLO, TURVEY, 1994; SHIMIZU, NORIMATSU, 2005). Quando a massa é adicionada distante do eixo de rotação, ocorre um aumento da distância do centro de massa em relação a este eixo, o que aumenta a resistência da haste a movimentos rotatórios, ou seja, aumenta o seu I . Neste caso, os indivíduos perceberam as hastes com maior I como tendo maior comprimento. O contrário também foi observado, ou seja, quando foi reduzida a distância entre o centro de massa e o eixo de rotação, os indivíduos perceberam os objetos como tendo menor comprimento (SOLOMON, TURVEY, 1988; SOLOMON, TURVEY, BURTON, 1989; TURVEY, 1996; FITZPATRICK, CARELLO, TURVEY, 1994; SHIMIZU, NORIMATSU, 2005). Desta forma, os resultados evidenciam que há fortes associações entre C_p e I e, ainda, que esta relação ocorre de acordo com uma função de potência ($C_p = a(I)^b$) cujo expoente b é próximo de $1/3$ como predito pela relação física anteriormente reportada (SOLOMON, TURVEY, BURTON, 1989; FITZPATRICK; CARELLO, TURVEY, 1994). Isso significa que o I é a variável que especifica (ou informa sobre) a propriedade comprimento e, portanto, deve ser detectada para a percepção do comprimento de objetos via tato dinâmico.

Enquanto o desempenho de adultos em tarefas que avaliam a habilidade perceptual háptica via tato dinâmico foi amplamente estudado, a investigação do desempenho de crianças nessas mesmas tarefas é comparativamente bem mais reduzida. Para as crianças com DN, os poucos estudos disponíveis na literatura informam que a dependência da percepção do comprimento ao momento de inércia parece aumentar com a idade. Aos cinco anos, crianças apresentam um desempenho perceptual háptico inferior ao de indivíduos adultos (SHIMIZU, NORIMATSU, 2005), mas entre oito e dez anos de idade essa diferença desaparece (OCARINO *et al.*, 2013). Em relação às crianças com condições patológicas, há evidências de alterações nas habilidades perceptuais hápticas para crianças com paralisia cerebral (PC) (OCARINO *et al.*, 2013) e crianças com TDC (WADE *et al.*, 2015). Os resultados destes estudos demonstraram que tanto as crianças com PC quanto as crianças com TDC apresentaram índices inferiores de acurácia e de confiabilidade na avaliação do comprimento das hastes, comparadas às crianças com DN. Ocarino *et al.* (2013) revelaram ainda que o desempenho inferior das crianças com PC estava relacionado a diferenças na detecção da variável informacional. Enquanto o I foi o preditor do C_p para as crianças com DN, o mesmo

não foi evidenciado para as crianças com PC, possivelmente por dificuldades nos movimentos exploratórios com a haste que são necessários para a detecção da variável informacional (I).

A detecção da variável informacional que permite a precisão na percepção de propriedades do objeto está ancorada no padrão exploratório adotado pelo indivíduo (TURVEY, CARELLO, KIM, 1990; RILEY *et al.*, 2002. ARZAMARSKI *et al.*, 2010). Padrão exploratório é a forma como o indivíduo manipula o objeto, ou seja, movimenta-o no espaço a fim de detectar a variável informacional que especifica a propriedade do objeto manuseado e, conseqüentemente, suas possibilidades de ação. Em indivíduos adultos, Lederman e Klatzky (1987) demonstraram que diferentes padrões exploratórios são adotados para detectar diferentes tipos de informação. Por exemplo, pode-se passar a mão sobre o contorno do objeto para saber sua forma, ou esfregar os dedos na superfície para sentir a textura, ou ainda, levantar e balançar o objeto para detectar o peso. No contexto do tato dinâmico, Riley *et al.* (2002) por exemplo, demonstraram que indivíduos realizavam diferentes movimentos exploratórios dependendo se a propriedade a ser percebida era a altura ou a largura de um mesmo objeto. Desta maneira, parece que há uma relação entre o padrão exploratório adotado e a variável informacional que suporta a percepção de propriedades do objeto (TURVEY, CARELLO, KIM, 1990; RILEY *et al.*, 2002; ARZAMARSKI *et al.*, 2010).

Os padrões exploratórios utilizados via tato dinâmico são variados e difíceis de serem distinguidos utilizando análises observacionais ou mesmo parâmetros cinemáticos clássicos como velocidade, pico de aceleração, variação de amplitude, dentre outros (RILEY *et al.*, 2002). Desta forma, a detecção de mudanças nos movimentos exploratórios que suportam o tato dinâmico requer análises que sejam sensíveis ao seu padrão sutil de flutuação temporal, ou seja, sensíveis ao padrão de mudanças no deslocamento do objeto a ser percebido ao longo do tempo (RILEY *et al.*, 2002). Um exemplo de análise que tem sido utilizada com sucesso para caracterizar padrões exploratórios no contexto de tarefas perceptuais baseadas em tato dinâmico é a “*Detrended Fluctuation Analysis*” (DFA) (STEPHEN, ARZAMARSKI, MICHAELS, 2010; KELTY-STEPHEN & DIXON, 2014). Esta análise captura a relação entre as variações nas flutuações de um sinal (e.g., deslocamentos tridimensionais da haste) e as diferentes escalas temporais em que estas variações são observadas. Esta relação é tipicamente medida pelo expoente

α . A magnitude de α fornece uma estimativa das correlações temporais ou da estrutura de variabilidade nas séries temporais: $\alpha \approx 0,5$ indica ausência de correlações temporais ou padrão aleatório (ou seja, ruído branco); $\alpha \approx 1$ indica correlações de longo alcance ou estrutura persistente (ou seja, fractal, $1/f$ ou ruído rosa); e $\alpha \approx 1,5$ indica estrutura altamente persistente (isto é, movimento browniano) (COEY *et al.*, 2016; EKE *et al.*, 2002).

Flutuações fractais no padrão exploratório (i.e., $\alpha \approx 1$) para a percepção do comprimento, via tato dinâmico, têm se mostrado relevante para o desempenho e aprendizado perceptual (STEPHEN, ARZMARSKI, MICHAELS, 2010; STEPHEN, HAJNAL, 2011; PALATINUS *et al.*, 2013; PALATINUS *et al.*, 2014; KELTY-STEPHEN & DIXON, 2014). Estas flutuações refletem a coordenação da informação em várias escalas de tempo que são cruciais para a habilidade perceptual háptica e envolvem: (a) detecção da informação (curto prazo); (b) calibração definida como o escalonamento da informação detectada para a percepção (médio prazo); (c) sintonização (*attunement*) que reflete a mudança no uso da variável informacional, de uma menos para uma mais útil (longo prazo) (MICHAELS *et al.*, 2008; WITHAGEN & MICHAELS, 2005).

Estudos evidenciam que o padrão exploratório fractal de adultos no contexto do tato dinâmico prediz o comportamento do indivíduo no uso da informação para a percepção do comprimento *trial-by-trial* e, assim, explica as diferenças interindividuais no desempenho e aprendizado perceptual. Especificamente, o sucesso na percepção do comprimento foi associado a um padrão exploratório fractal que reflete os processos de detecção, calibração e sintonização da informação. Por outro lado, as tentativas de insucesso foram associadas a um padrão exploratório também fractal, porém associado com algum prejuízo na detecção, como também na sintonização e/ou calibração da variável informacional. Em outras palavras, um padrão exploratório que não foi suficientemente informativo para garantir a percepção da propriedade comprimento, via tato dinâmico (STEPHEN, ARZMARSKI, MICHAELS, 2010; STEPHEN, HAJNAL, 2011; PALATINUS *et al.*, 2013; PALATINUS *et al.*, 2014; KELTY-STEPHEN, DIXON, 2014).

Considerando a perspectiva teórica apresentada e a movimentação desorganizada que é característica das crianças com TDAH, é possível pressupor que esta movimentação interfira na habilidade perceptual háptica. Possivelmente, o

padrão exploratório adotado por estas crianças ao manipular objetos não seja suficientemente informativo para revelar as propriedades do mesmo como ocorre com as crianças com DN. Se este for o caso, déficit na percepção háptica como nos seus mecanismos subjacentes será evidenciado, o que contribui para o entendimento das dificuldades funcionais de crianças com TDAH, especificamente, as dificuldades que envolvem a manipulação de objetos. Portanto, este é o objeto de investigação do Estudo 1 desta tese de doutorado.

1.3 Estudo 2: Fundamentação teórica e justificativa

Tradicionalmente, a eficiência nas estratégias de organização postural, como a flexibilidade postural, são avaliadas por meio do comportamento dos indivíduos durante a manutenção da postura ereta, ou seja, quando solicitados a permanecerem o mais estático possível na posição ortostática mediante a diferentes manipulações (e.g. olhos abertos x fechados; superfície rígida x maleável, etc.). Nestas situações, as estratégias posturais são operacionalizadas pela quantidade de movimentação na estrutura do COP e/ou medidas grosseiras de variabilidade, como desvio-padrão ou coeficiente de variação (RILEY & TURVEY, 2002). Reduzida quantidade e/ou variabilidade (menor flexibilidade) de movimentação do COP é interpretada como maior eficiência e estabilidade no controle postural, enquanto a maior quantidade e/ou maior variabilidade é interpretada como uma menor eficiência e estabilidade do sistema postural.

Este tipo de paradigma experimental já foi testado em crianças com TDAH. Buderath *et al.* (2009), por exemplo, demonstraram alterações posturais (i.e., maior oscilação postural) nestas crianças mediante a posturografia dinâmica que consiste na manutenção da postura estática em diferentes situações que envolvem privação da informação visual e/ou mudança na inclinação da superfície de apoio. De forma semelhante, Hassan e Azzam (2012) encontraram que as crianças com TDAH do tipo combinado (i.e., sintomas de hiperatividade e desatenção com proporção semelhantes) não conseguiram manter a postura estática e mostraram uma maior quantidade e variabilidade de oscilação do COP enquanto realizavam também as atividades propostas na posturografia dinâmica, quando comparadas às crianças com DN. Portanto, estes resultados ilustram que crianças com TDAH apresentam

maior quantidade e variabilidade nas oscilações posturais tipicamente interpretados como menor estabilidade postural.

Apesar dos estudos avaliarem o comportamento da oscilação postural durante a manutenção da postura ereta estática e relacionarem com eficiência e estabilidade postural, alguns autores questionam este tipo de paradigma experimental (STOFFREGEN *et al.*, 2000; RILEY *et al.*, 1999). Particularmente, é dito que em situações cotidianas, a postura é mantida para a realização de uma tarefa, e não simplesmente para “manter-se o mais estático possível” independente do contexto no qual o indivíduo está inserido. Há evidências de que a postura é flexível, ou seja, é modificável e adaptável de acordo com as restrições impostas pela tarefa em um determinado contexto (DAVIDS, 2003; STOFFREGEN *et al.*, 2000; RILEY *et al.*, 1999;). Por exemplo, Stoffregen *et al.*, (2000) evidenciaram que a estabilidade do movimento dos olhos em alvos colocados em diferentes posições foi relacionado a flexibilidade postural. Para alvos mais próximos do participante, houve uma redução na variabilidade postural comparado ao alvo colocado mais distante. Da mesma forma, a variabilidade da oscilação postural foi reduzida durante o sucesso na tarefa de contagem da frequência de determinada letra em uma projeção de texto colocado a frente do participante, em relação à variabilidade da oscilação durante apenas a fixação visual na projeção de texto. Sendo assim, esses resultados refletem que há uma reorganização da oscilação postural para facilitar a função, ou seja, uma flexibilidade do sistema postural frente a diferentes contextos que é demonstrada quando avaliada diante de uma variação controlada experimentalmente da atividade supra-postural (i.e., outras atividades para além da postura). Em outras palavras, essa flexibilidade é evidenciada quando há medidas de performance independente da tarefa postural e sob diferentes graus de complexidade. Mediante estas condições, é possível avaliar e interpretar as estratégias posturais adotadas no contexto da tarefa, como também os déficits nesses mecanismos, em caso de patologias (STOFFREGEN *et al.*, 2000; RILEY *et al.*, 1999).

As estratégias posturais no contexto de execução da tarefa em crianças com TDAH (off de medicação) também já foram investigadas. Shorer *et al.* (2012) compararam a quantidade de oscilação postural de crianças com TDAH e crianças com DN durante a realização de uma tarefa simples (“ficar estático”) e de uma tarefa dupla (ficar estático + escutar curtas músicas e memorizá-las). Contrário a hipótese

dos autores, ambos os grupos obtiveram menor quantidade de oscilação do COP, interpretado como maior estabilidade postural, na condição de tarefa dupla quando comparada a tarefa simples. Embora Shorer *et al.* (2012) avaliaram a postura na realização de uma tarefa supra-postural, não houve variação de demanda que pudesse relacionar a quantidade de oscilação postural com o desempenho da tarefa, e nem medida de variabilidade da trajetória do COP que pudesse demonstrar a flexibilidade postural dessas crianças. Portanto, um paradigma experimental de tarefa dupla com variação de demanda da tarefa supra-postural que possa revelar a relação da flexibilidade postural com o desempenho funcional ainda não foi investigado nesta população.

Além das limitações referentes aos paradigmas experimentais tipicamente adotados para a avaliação de mecanismos posturais, como a flexibilidade postural, alguns autores também têm questionado se as medidas tradicionais de oscilação do COP são sensíveis e adequadas para descrever a estrutura dinâmica temporal da organização postural (RILEY & TURVEY, 2002; BALASUBRAMANIAM, RILEY, & TURVEY, 2000; DONKER *et al.*, 2008, 2007; ROERDINK *et al.*, 2006). Os resultados de Balasubramaniam, Riley e Turvey (2000) são um exemplo deste questionamento. Neste estudo, os indivíduos foram solicitados a realizarem uma tarefa de precisão que implicava apontar um laser portátil posicionado no corpo do participante em um alvo específico. A tarefa foi realizada com alvos de diferentes tamanhos e distâncias em duas orientações do plano coronal do corpo para o alvo: paralelo e perpendicular ao plano do alvo. Foi observado que o sucesso na tarefa foi dependente de menor oscilação médio-lateral e maior oscilação ântero-posterior quando o alvo estava paralelo e este padrão inverteu-se na orientação perpendicular. Os resultados deste estudo refletem que o sistema postural não facilita a tarefa supra-postural (acertar o laser no alvo) por uma redução “genérica” de movimentação na oscilação postural mesmo em uma tarefa de precisão. Ao invés disso, as oscilações posturais são preservadas, porém restritas a um plano que interfere minimamente com a tarefa. Isto sugere que avaliar a estrutura da dinâmica postural parece ser mais informativo do que somente avaliar a quantidade de movimento.

Alguns métodos não-lineares para avaliar a estrutura da dinâmica postural e, assim, informar sobre a flexibilidade do sistema postural, já foram descritos e usados na literatura. Um destes métodos é a análise de entropia da amostra (EDA), tipicamente conhecida como *Sample Entropy* (QUATMAN-YATES *et al.*, 2018;

DONKER *et al.*, 2008, 2007; RAMDANI *et al.*, 2009; ROERDINK *et al.*, 2006;). Esta análise leva em consideração a natureza irregular das flutuações do COP ao longo tempo. Nesse caso, uma maior EDA é indicativo de menor regularidade da trajetória do COP, e uma menor entropia é indicativo de maior regularidade (RICHMAN, MOORMAN, 200; LAKE *et al.*, 2002; DONKER *et al.*, 2008, 2007; ROERDINK *et al.*, 2006). Estudos recentes evidenciam que a utilização desta técnica tem fornecido novos conhecimentos a respeito da estrutura da variabilidade das oscilações posturais, principalmente sobre a natureza desta variabilidade e, conseqüentemente, dos mecanismos subjacentes a manutenção da postura para o sucesso na realização de tarefas funcionais (DONKER *et al.*, 2008, 2007; RAMDANI *et al.*, 2009; ROERDINK *et al.*, 2006;).

A EDA foi utilizada para avaliar a flexibilidade postural de indivíduos com diversas condições patológicas (e.g., crianças com paralisia cerebral, doença de Parkinson, pacientes pós acidente vascular cerebral) (SCHIMIT *et al.*, 2006; DONKER *et al.*, 2008; ROERDINK *et al.*, 2006). Em geral, esses indivíduos exibem uma maior regularidade da trajetória do COP (valores menores da EDA) do que os indivíduos típicos. Além disso, a regularidade da trajetória do COP é também influenciada por alterações nas restrições impostas às tarefas, como a manipulação da informação visual, ou a interferência de uma tarefa, como em condições de tarefa dupla (DONKER *et al.* 2007; 2008; ROERDINK *et al.*, 2006). A interpretação é que uma maior regularidade da trajetória do COP evidencia que as oscilações posturais não são puramente aleatórias e/ou independentes do contexto. Na verdade, as oscilações contêm um grau de estrutura determinística, ou seja, há uma previsibilidade no seu comportamento. Em algumas situações essa maior regularidade é observada e indicativa de maior controle na manutenção da postura, por exemplo, mediante a privação de informação visual ou sob alta demanda da tarefa (SCHIMIT *et al.*, 2006). Porém, quando na presença de condições patológicas e/ou em situações de baixa demanda, essa maior regularidade também pode indicar uma perda da flexibilidade do sistema postural (ou uma maior rigidez desse sistema) que, por sua vez, pode afetar o desempenho de tarefas (PASCOLO *et al.*, 2005; VAILLANCOURT & NEWELL, 2002).

A flexibilidade postural, por meio da análise da EDA, em crianças com TDAH ainda não foi investigada. Considerando a importância da flexibilidade postural na organização de padrões de movimentos eficazes na execução de tarefas em

determinado contexto, e também o uso de medidas sensíveis que capturem aspectos relevantes da dinâmica postural, o Estudo 2 desta tese foi proposto. O intuito é entender se as dificuldades de desempenho de tarefas motoras e cognitivas de crianças com TDAH podem ser explicadas pela flexibilidade postural. Esse entendimento pode ser relevante para delinear métodos de avaliação, bem como, programas de intervenção que sejam efetivos para esta população.

2 OBJETIVOS

2.1 Estudo 1

2.1.1 Objetivo Geral

Comparar, via tato dinâmico, as habilidades perceptuais hápticas de crianças com TDAH e crianças com DN.

2.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Comparar o comprimento percebido de hastes frente a manipulações no comprimento e distribuição de massa das mesmas, em uma tarefa de percepção do comprimento via tato dinâmico, por crianças com TDAH e crianças com DN.
- 2) Comparar a acurácia e a confiabilidade na percepção do comprimento de hastes via tato dinâmico de crianças com TDAH e crianças com DN.
- 3) Investigar se o padrão exploratório adotado pelas crianças com TDAH na tarefa de percepção do comprimento de hastes, via tato dinâmico, explica diferenças na sensibilidade à variável informacional (I_1) e, conseqüentemente, no desempenho perceptual háptico quando comparado às crianças com DN.

2.2 Estudo 2

2.2.1 Objetivo Geral

Investigar o papel da flexibilidade postural no desempenho motor e cognitivo de crianças com TDAH e crianças com DN em um paradigma de tarefa dupla.

2.2.2 Objetivos Específicos

- 1) Comparar o desempenho motor e cognitivo de crianças com TDAH e crianças com DN na realização de tarefa dupla.

- 2) Comparar a flexibilidade postural, medida pela entropia da amostra, de crianças com TDAH e crianças com DN durante a realização de tarefa dupla.

- 3) Investigar se diferenças no desempenho motor e cognitivo de crianças com TDAH e crianças com DN durante execução da tarefa dupla podem ser explicadas por diferenças na flexibilidade postural.

3 HIPÓTESES

3.1 Hipótese do Estudo 1

H1 = Crianças com TDAH apresentarão pior percepção do comprimento das hastes frente às manipulações propostas (diferentes comprimentos e distribuição de massa) comparadas às crianças com DN.

H2 = Crianças com TDAH apresentarão menor acurácia e menor confiabilidade na percepção do comprimento das hastes comparadas às crianças com DN.

H3 = Crianças com TDAH apresentarão menor sensibilidade na detecção da variável informacional que será explicada por diferenças no padrão exploratório quando comparadas às crianças com DN.

3.2 Hipótese do Estudo 2

H1 = Crianças com TDAH apresentarão desempenho motor e cognitivo inferior na realização de tarefa dupla, comparadas às crianças com DN.

H2 = Crianças com TDAH apresentarão menor flexibilidade postural (menor valores de entropia da amostra) durante a realização de tarefa dupla, comparadas às crianças com DN.

H3 = A flexibilidade postural menos efetiva das crianças com TDAH na execução da tarefa dupla explicará as diferenças de desempenho motor e cognitivo dessas crianças, quando comparadas às crianças com DN.

4 ARTIGO 1¹

Title: Fractal fluctuations in exploratory movements predict differences in dynamic touch capabilities between children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder and typical development

¹ Este esse artigo foi submetido ao periódico PLOS ONE em 08/10/2018. O artigo encontra-se em revisão, tendo retornado com avaliação de dois revisores em 04/02/2019.

Abstract

Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) struggle to perform a host of daily activities. Many of these involve forceful interaction with objects and thus implicate dynamic touch. Therefore, deficits in dynamic touch could underlie functional difficulties presented by ADHD children. We investigated whether performance on a dynamic touch task (length perception by wielding) differ between children with ADHD and age-matched controls. We further examined whether this difference could be explained by fractal temporal correlations (wielding dynamics). Forty-two children (ADHD: 21; typically developing: 21) wielded unseen wooden rods and reported their perceived length in the form of magnitude productions. The rods varied in the magnitude of the first principal moment of inertia (I_1). Three-dimensional displacements of hand and rod positions were submitted to Detrended Fluctuation Analysis to estimate trial-by-trial temporal correlations. Children with ADHD reported shorter length for rods with higher I_1 , indicative of reduced sensitivity to mechanical information supporting dynamic touch. Importantly, temporal correlations in wielding dynamics moderated children's usage of I_1 . This finding point to a role of exploratory movements in perceptual deficits presented by children with ADHD and, thus, may be a target for new interventions to improve their functional performance.

Introduction

Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is characterized by symptoms of inattention and/or hyperactivity-impulsivity associated with reduced independence at home and deficient academic performance at school [1-3]. In addition to functional limitations associated with cognitive behavioral symptoms, children with ADHD also have difficulties with the performance of motor activities key for successful participation at home and school settings [4]. The present study aimed to determine whether perceptual deficits might be related to these difficulties.

Motor deficits in children with ADHD commonly appear in the context of daily activities that involve interaction with objects, such as silverware, scissors, tweezers, a toothbrush, pencil, or ball [2,5-7]. To perform these activities successfully, children have to carefully pattern their muscular forces to manipulate the object in a way that meets the activity requirements. This careful patterning requires keen perception of the object's geometrical and dynamical properties [8,9], relying on a haptic perceptual subsystem called dynamic touch [9,10,11]. Therefore, the difficulty in the performance of motor activities presented by children with ADHD may produce deficits in dynamic touch and vice-versa.

Dynamic touch supports accurate and reliable perception of a number of object properties, such as length [8,12-14], width [13], heaviness [15], and center of percussion [16]. Manipulations of the mechanical properties of the hand-held objects have allowed researchers to consistently conclude that the basis for these accomplishments is the invariant resistance offered by hand-held objects to their motion (i.e., the objects' mass moments). Deficits in dynamic touch can, thus, result when a pathological condition compromises processes that would typically guarantee sensitivity to objects' mass moments.

To appreciate how an object's mass moments might constrain perception by dynamic touch, consider the well-studied task of perceiving the length of hand-held rods by wielding. The first principal moment of inertia (I_1) of rods constructed of the same homogenous materials relate reliably to their length. If one is to hold a rod firmly at its proximal end while pointing it forward, I_1 will be related to the resistance the rod will offer to up-down and side-to-side accelerations [8,12]. Therefore, wielding the rod in this direction can create the mechanical stimulation that supports detection of I_1 and, thus, perception of rod length. When the task is performed successfully,

participants exploit the lawful relationship that exist between I_1 and the length of homogenous rods — Length = $a (I_1)^b$, with $b = .33$ as expected from dimensional analysis.

The perception of length by wielding has been the paradigm of choice to study dynamic touch in children with and without developmental disability. Research has shown that perceptual performance improves with age [17,18], with typically developing (TD) children reaching adult performance between eight and ten years old [19]. Notably, children with clinical conditions, such as cerebral palsy and developmental coordination disorder (DCD), had lower accuracy in perceptual reports than TD children and reduced attunement to I_1 [19,20]. It is unknown, however, whether individuals with ADHD show similar deficits. If they do, remediation requires an understanding of what might be limiting the appropriate use of mechanical information.

Understanding inter-individual differences in the use of mechanical information requires focusing on exploratory movements (wielding dynamics). There are multiple means to explore an object to successfully perceive its properties (e.g. moving from the wrist, the elbow, and the shoulder yield similar perceptual reports) [21]. Perhaps most surprising is the fact that overt, voluntary wielding of an object is not necessary for successful perception of its properties by dynamic touch [22,23]. Even in static holding, the persisting, minuscule musculoskeletal fluctuations incident to the activity of supporting an object is sufficient for perception of dynamic touch [24]. This case of non-overt explorations of mechanical in the haptic case lags behind a much better- and much longer-appreciated postural analogue in a more visual case: so-called “quiet” standing (i.e., standing “still”) contains within it subtle, often-ignored sway, much of which is crucial for how visual perception engages with optical distributions [25-28]. Hence, a key challenge in determining the relationship between object exploration and perceptual performance is to identify a measure that captures meaningful distinctions across individual differences of exploratory movements.

To meet this challenge, researchers have sought to characterize the high-dimensional, subtle fluctuations embedded in exploratory movement and determine their relevance to perception by dynamic touch [29]. Regardless of whether the exploratory movement involved more overt motions or more static interactions, if we remove the overall trend in exploratory movements, fluctuations left over exhibit long-range temporal correlations sometimes called “fractality” [22,23,30-32]. Whereas

harmonic explorations might involve the most powerful oscillatory movements constrained to only one characteristic frequency, fractal fluctuations in exploratory movement exhibit oscillations across a wide range of frequencies. Fractal fluctuations are not, however, without structure: what long-range temporal correlations mean is that each event follows not just from the immediately previous events but also bear the slowly dwindling—but never completely vanishing—effect of long past events.

Fractal fluctuations in haptic exploration prove to be critical for perceptual learning. They reflect the coordination of sampling information across various times scales: (a) detection in short-term information pick-up; (b) calibration with medium-term rescaling judgments of object properties and (c) attunement at the longer-term as participants change which object variable they attend to [33,34]. Crucial for present purposes, research showed that wielding dynamics (i.e., long-range temporal correlations in exploratory movements) predicts how an individual uses information in dynamic touch tasks on a trial-by-trial basis and, thus, explains inter-individual differences in perceptual performance and perceptual learning [22,23,30-32]—even in the case of non-overt postural sway [35].

We propose to investigate the performance of children with ADHD in dynamic touch and examine whether fractal measures of their exploratory movements explain their differences in dynamic touch from TD children. Initially, we might well anticipate that the motor difficulties and, indeed, difficulties following rules [36] could lead children with ADHD to struggle to meet the demands of the basic dynamic touch procedure, e.g., maintaining a firm grasp on the wielded object. Hence, we plan to track exploratory movements with motion-capture both on the hand, in accordance with past dynamic-touch research, but also on the rod itself. This elaboration of the standard method would not only anticipate the failure of children with ADHD to maintain firm grasp according to the experimental instructions, but it would also have the added benefit of elaborating early evidence that incidental vibrations of the rod itself provide perceptual information above and beyond wielding behaviors [37,38]. For instance, it may be that the fractal structure of rod vibrations offer a competing source of information, and children with ADHD might even use this source for their dynamic-touch reports. We hypothesized that (1) children with ADHD would be less accurate and reliable in the length perception task compared to TD children, and (2) differences in performance would be explained by reduced reliance on I_1 , which in turn would be associated with the fractal structure of wielding dynamics.

Materials and Methods

Participants

Initially, 24 children with medical diagnosis of ADHD established according to Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5 [1]) composed the ADHD group and 22 TD children with no history of any pathology or clinical disorder composed the TD group. Specifically, children with ADHD and their parents underwent a semi-structured psychiatric diagnostic interview with the Brazilian version of the Kiddie Schedule for Affective Disorders and Schizophrenia for School-Aged Children (K-SADS). These children were recruited through convenience sampling from the child psychiatry outpatient clinic at Hospital das Clínicas /Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). TD children were recruited from the local community. Parents of children with ADHD agreed not to administer medication (psychoestimulants) for 24 hours prior to their experimental section. UFMG's ethics review committee approved the study. In compliance with the approved research protocol, informed consent was obtained from all participants and their caregivers prior to their inclusion in the study.

All children initially selected to participate in the study were submitted to the Raven's Colored Progressive Matrices (Raven's CP; [39]). The Raven's CP was used to document children's cognitive ability. Only children with average intellectual ability, that is, those able to understand and cooperate with verbal instructions, continued in the study (Table 1). Three children with ADHD were excluded due to their scores on the Raven's CP. Parents from both groups completed the Brazilian version of the Swanson, Nolan, and Pelham Questionnaire - version IV (SNAP-IV), a behavior rating scale used to assess symptoms of ADHD (subscales: inattention and hyperactivity-impulsivity; [40]). Following the diagnostic criterion established by the DSM-V, only children who had at least six items rated "quite a bit" (score 2) or "very much" (score 3) in one or more subscales of SNAP-IV were included in the ADHD group. Only children who had less than six items rated "quite a bit" or "very much" in any subscale of SNAP-IV were included in TD group. At this stage, one TD child was excluded and referred for medical evaluation. Table 1 provides a detailed characterization of each group.

Table 1: Description of ADHD and TD groups.

Characteristics		Group		<i>p</i> value ^f
		ADHD (n = 21)	TD (n = 21)	
Sex ^a	Male	18 (86%)	15 (71%)	0.259
	Female	3 (14%)	6 (29%)	
Age ^b	Years	9.9 (1.3)	10.2 (1.5)	0.400
Body Weight ^b	Kilograms	39 (9.2)	40.2 (10.2)	0.691
Height ^b	Centimeters	145 (10)	145.6 (10.1)	0.842
Cognitive Function ^b	Raven's CP	76 (24.7) ^c	80.6 (21.6) ^c	0.603
Socioeconomic status ^a	CCEB categories ^d	A = 3 (14%) B1/B2 = 8 (38%) C1/C2 = 10 (48%) D/E = 0	A= 3 (14%) B1/B2 =8 (38%) C1/C2 = 10 (48%) D/E = 0	
ADHD behaviors ^a	SNAP - IV ^e			<0.0001
	Inattentive	17.8 (6.0)	5.8 (2.7)	
	Hyperactive-impulsive	17.7 (5.5)	5.5 (4.5)	
Preferred limb ^a	Right	21 (100%)	21 (100%)	

ADHD: Attention-Deficit Hyperactivity Disorder, TD: typically developing, Raven's CP: Raven's Colored Progressive Matrices SNAP - IV: Brazilian version of the Swanson, Nolan, and Pelham - version IV,

^a Numbers indicate frequency and (%).

^b Numbers indicate mean and (standard deviation).

^c Scores within or above the "average" descriptive category, which range from 26 to 99 (R.C. Raven 1999).

^d CCEB Brazil's socioeconomic classification criteria. The categories represent family's socioeconomic levels. They are defined from a standardized questionnaire that assigns points to items related to the presence and amount of certain home appliances, number of cars owned, and the level of formal education of the main family member (provider). The points are summed, and specific ranges are translated into categories, in which higher total scores refer to higher socioeconomic levels. Level A= 45 to 100 points; B1/B2= 29 to 44 points; C1/C2= 17 to 28 points; and D/E= 0 to 16 points.

^e SNAP-IV: Inattentive = at least six items symptoms rated "quite a bit" and "very much" in inattention; Hyperactive-impulsive = at least six items symptoms rated "quite a bit" and "very much" in hyperactive-impulsive; combined = Inattentive + Hyperactive-impulsive.

^f Equivalence between groups was verified by independent-sample T test.

Experimental procedures

To perform the experimental task (length perception by wielding), the children sat on a chair next to an opaque black curtain positioned on their right side. Their hand was put through a slit in the curtain until the forearm was comfortably resting on an armrest, with the wrist a few centimeters beyond its edge to allow free movement. An experimenter instructed participants to maintain full grip of the rods at all times and move it using the wrist joint. Participants provided length reports, in the form of magnitude productions, by aligning the visible marker to the perceived position of the tip of the rod using a string and pulley system. This system was positioned on a 2

meters table such that it was easily reachable with their left hand. A tape measure (not visible to participants) was placed end-to-end on the stick so that the experimenter could quantify participants' perceived length (P_L – cm; Fig 1).

Fig 1: Experimental set up: Occluded rods were wielded by hand as participants adjusted a visible marker to indicate the location of the tip. Four ProReflex cameras recorded the motions of reflexive markers positioned at the hand and rod, which were used to characterize the exploratory movements underlying task performance.

Two wooden rods with different lengths were used in the task. The mass distribution of each rod was manipulated by attaching a steel cylinder at positions corresponding to 50%, 70%, and 90% of its length. By crossing the two different lengths with three mass positions, six rods were created differing in the magnitude of their I_1 , computed with standard methodology, using the wrist as the axis of rotation [12]. Table 2 provides details about the characteristics of the rods. Inertial Length (L_I) is the expected length report for each rod assuming appropriate attunement to I_1 . To compute L_I of our experimental rods (Table 2), we employed the power function relating the length of homogenous rods and I_1 [Length = $a (I_1)^b$] [12,41]. We estimated the values of a (.309) and b (.333) using the values of length and I_1 of a series of eight homogeneous rods with diameter and density equal to the experimental rods.

Table 2: Characteristics of the rods: diameter (m); density (kg/m^3); length (m); mass position (%); values of maximum principal moment of inertia - I_1 (Kg/m^2), and inertial length - L_I (m).

Rod	Diameter	Density	Length	Mass position	I_1	L_I
1	0.012	9.81	0.3	50	.0016	0.36
2	0.012	9.81	0.3	70	.0028	0.44
3	0.012	9.81	0.3	90	.0042	0.50
4	0.012	9.81	0.5	50	.0047	0.52
5	0.012	9.81	0.5	70	.0077	0.61
6	0.012	9.81	0.5	90	.0118	0.71

The mass distribution of each rod was manipulated by attaching a stainless steel cylinder with mass of 49.91 g.

At each experimental trial, a rod was positioned in the child's hand who was reminded to grasp it firmly and move it around the wrist while adjusting the visible

marker until he or she felt it was aligned with the tip of the rod. When the child indicated he or she was done, the experimenter recorded P_L and moved the marker back to its initial position. Each rod was presented three times, in random order, yielding a total of 18 trials. To characterize the welding dynamics, the position of the hand and the position of the rod over time were recorded at a sampling frequency of 100 Hz using the Qualisys® motion capture system (Qualisys Inc, Gothenburg, Sweden) with four properly calibrated ProReflex cameras. The cameras monitored the position of two infrared reflective markers placed (1) on the distal extremity of the rod and (2) on the right hand of the child (the anatomical snuffbox region; Fig 1). In each trial, recordings started when the child was given full control of the rod and told to start exploring and finished when he or she indicated the task was completed. Participants were allowed as much time as needed for each trial and could request a break if they felt tired.

Several procedures were used to familiarize the children with the task. Children were given three rods (not used during the experiment) and were instructed on how to use the pulley system to indicate their length, with and without vision. The experimental trials began only after children demonstrated clear understanding of the restrictions on the exploratory procedure (e.g., did not raise the forearm from the armrest during exploration; move the rod through the wrist only), and followed task instructions (e.g., matched the marker on the pulley system with the tip of the rod when visual information about the rod was available).

Data Analyses

Haptic perceptual performance

The mean of the three length reports provided for each rod was computed to obtain a measure of P_L . We computed the percent average deviation (AD%) of the three reports provided for each rod from P_L and percent root mean square error (RMSE%) as measures of reliability and accuracy, respectively (see [42]). The latter measure expresses the average deviations of length reports from L_i , or the expected length given I_1 .

Welding Dynamics

We characterized welding dynamics as temporal correlations (or fractality) in

the detrended fluctuations in the exploratory movements of the hand and rod. Twenty-one participants in each of the two groups completed 18 trials generating a total of 756 recordings of three-dimensional positions of hand and rod over time. We computed time-series of three-dimensional hand and rod displacements by calculating the Euclidian distance between successive samples in the hand and rod position time-series, respectively (Fig 2). The mean length of the resulting time-series was 1952.77 data points ($SE = 1320.76$).

Fig 2: Estimate the fractality of welding dynamics in each trial of the reflective markers positioned on the hand (left) and the rod (right). **(A)** 3D position time-series of the hand and rod recorded during welding (sampling rate=100Hz). **(B)** Time-series of Euclidean displacements from the 3D position time-series of the hand and rod **(C)** Detrended Fluctuation Analysis (DFA) to estimate trial-by-trial alpha reflecting the relationship between magnitude of fluctuation and time-scale.

To estimate the fractality of welding dynamics, the 756 displacement time-series of the hand and rod were submitted to Detrended Fluctuation Analysis (DFA [43]; Fig 2). DFA estimates the association between amount of root-mean-square (RMS) variation in a signal (the displacement time-series) with the timescales of measurement. The first step of this analysis is to integrate the original signal, $x(t)$, of length N , by computing the successive cumulative sums of difference scores. This procedure produces a new series $y(t)$:

$$(1) \quad y(t) = \sum_{i=1}^N x(i) - \overline{x(t)},$$

where $\overline{x(t)}$ is the time-series mean. The second step is to fit linear trends, $y_n(t)$, to nonoverlapping windows of length n (e.g., 8, 16, 32, 64, etc.) and compute the RMS over each fit. RMS is an average of the residuals around the linear fit and, therefore, captures the magnitude of fluctuation in the signal at the various window sizes. The RMS over each window size (with $n < N/4$) is described by the following fluctuation function $F(n)$:

$$F(n) = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N [y(t) - y_n(t)]^2}$$

(2)

The third step is to plot $F(n)$, that is, plot RMS against window size (DFA plot). On standard scales, $F(n)$ is a power law. Therefore, in log-log coordinates, a linear trend is observed. The fourth and final step is to compute the slope α of a regression line fitting the DFA plot. The magnitude of α provides an estimate of the temporal correlations or variability structure in the time-series: $\alpha \approx 0.5$ indicates no temporal correlations or random pattern (i.e., white noise); $\alpha \approx 1$ indicates long-range correlations or persistent structure (i.e., fractal, 1/f, or pink noise); and $\alpha \approx 1.5$ indicates highly persistent structure (i.e., Brownian motion; [44-46]).

Results and discussion

Dynamic touch performance

To determine whether perceptual performance is affected in children with ADHD, P_L was submitted to an Analysis of Variance (ANOVA) with a between subjects factor (Group: ADHD vs TD) and a within subjects factor (Rod: six levels of I_1). The analysis revealed a significant main effect of Group, $F(1, 40) = 8.50$, $p = .006$; $\eta_p^2 = .175$, with children in the ADHD group providing lower P_L ($M = 39.08$; $SD = 10.67$) than children in the TD group ($M = 45.25$, $SD = 11.65$). There was also a main effect of Rod, $F(5, 200) = 127.44$, $p < .0001$; $\eta_p^2 = .761$. Linear contrast indicated a significant increase in P_L as a function of I_1 , $p < .0001$; $\eta_p^2 = .860$. Finally, there was a significant Group \times Rod interaction, $F(5, 200) = 2.81$, $p = .041$; $\eta_p^2 = .066$. Simple effect analyses showed that differences between groups were statistically significant only for rods 4, $F(1, 40) = 5.39$, $p = .025$; 5, $F(1, 40) = 7.07$, $p = .011$; and 6, $F(1, 40) = 12.04$, $p = .001$ (Fig 3).

To determine whether differences in performance were indicative of ADHD-related deficits in dynamic touch, AD% and RMSE% were compared between groups. Mann-Whitney tests were employed because both variables violated distribution assumptions of parametric tests. Results indicated differences between groups in both AD% ($U = 111$, $p = .021$) and RMSE% ($U = 129$, $p = .006$) (Fig 3). As smaller values of AD% and RMSE% indicate greater reliability and accuracy,

respectively, children in the TD group had significantly better reliability and accuracy of P_L than children in ADHD group, confirming our first hypothesis.

Fig 3: (A) Magnitude of the group difference in perceived length (P_L) as a function rods and **(B)** Magnitude of the group difference in percent average deviation (AD%) and percent root mean square error (RMSE%). *Asterisks* indicate significant difference ($p < 0.05$). *Vertical lines* indicate standard error. ADHD Group: Attention-deficit hyperactivity disorder; TD Group: Typical development.

Dynamic touch in ADHD: Wielding dynamics moderate information use

The scaling exponents estimated for the displacement time series of the rod (α_{rod}) and for the displacement time series of the hand (α_{hand}) are consistent with fractal fluctuations in both groups [ADHD: $M\alpha_{rod} = 1.1$ ($SD = .11$), $M\alpha_{hand} = 1.07$ ($SD = .10$); TD: $M\alpha_{rod} = 1.09$ ($SD = .23$), $M\alpha_{hand} = 1.05$ ($SD = .09$)]. We used linear mixed effect regression model to estimate the contributions of I_1 , wielding dynamics (fractal scaling of hand and rod), Group (ADHD = 0, Typical = 1), and the interactions between these factors to trial-by-trial variations in length reports. Our model also included trial number to account for any changes in length reports due to experience with the task. All lower and higher order interactions were included.

The expected collinearity between α_{rod} and α_{hand} ($r = 0.65$, $p < 0.05$) recommended using Principal Component Analysis such that both variables could figure in the same stable model. This analysis generated two orthogonal variables (PC_1 & PC_2), each capturing the same proportion of total variance in the original variables. The linear combination representing PC_1 ($PC_1 = 0.95* \alpha_{rod} + 0.31* \alpha_{hand}$) indicates that its score is primarily affected by and change in direct proportion to α_{rod} . In contrast, the linear combination representing PC_2 ($PC_2 = -0.31* \alpha_{rod} + 0.95 \alpha_{hand}$) indicates that its score is primarily affected by and change in direct proportion to α_{hand} (note the similar weighing). Thus, for the sake of clarity, we will hereafter refer to PC_1 as PC_{rod} and to PC_2 as PC_{hand} . The effect of adding predictors required comparison of deviance between model and data (-2 Log Likelihood or -2LL) between a larger model and a simpler nested model. Change in -2LL is distributed as chi-square with degrees of freedom equal to the difference in the number of parameters between

nested models allowing test of statistical significance. Only interactions that significantly improved fit were kept in the final model.

Our final model included the following interactions: $PC_{rod} \times PC_{hand} \times Trial$, $PC_{rod} \times I_1 \times Group$, $PC_{hand} \times I_1 \times Group$ as well as all component lower-order interactions and main effects (Table 3). All potential higher order interactions linking these two families of interactions failed to improve model fit, suggesting that the interaction $PC_{rod} \times PC_{hand} \times Trial$ was not modified by I_1 or Group. This model generates predictions that correlate well with the actual trial-by-trial length reports, $r = .82$, $p < .0001$, indicating that the model explains roughly 67.1% of the observed variability in the length reports provided by participants.

General effects

Results of the model replicate usual findings in dynamic touch research: length reports were related to (a) I_1 and (b) wielding dynamics, regardless of diagnosis. The model advances current research on dynamic touch because it captures the specific contributions of hand and rod's movement fractality to length reports. Results show a significant main effect of PC_{hand} , such that higher hand's movement fractality was related to shorter length reports. It is possible that the relationship between hand exploratory movement fractality and length reports is mediated by the mechanical properties of the rods. Specifically, greater fractality of hand's movement can be expected with rods of lower I_1 , which are tied to shorter P_L . This interpretation is supported by research showing that (a) hand-held objects with lower I_1 impose weaker constraints on exploratory movement [47], and (b) these weaker constraints allow fluctuations to distribute over a wider range of time scales and so to embody stronger fractal structure [48-51].

No main effect of PC_{rod} on length reports was observed. However, rod's movement fractality magnifies the effect of hand's movement fractality on length reports when both change in the same direction ($PC_{rod} \times PC_{hand}$), in particular at earlier trials ($PC_{rod} \times PC_{hand} \times Trial$). It is not clear at the moment what might explain the "magnifying" effect of rod's movement fractality nor why it decreases with repeated trials. However, the significant interaction effects of I_1 with both PC_{rod} and PC_{hand} suggests that both rod and hand's movement fractality are required to account for the use of mechanical information during dynamic touch tasks. Importantly for

present purposes, the particular wielding dynamics used to modify the emphasis on I_1 differed between ADHD and TD groups ($PC_{hand} \times I_1 \times Group$ and $PC_{rod} \times I_1 \times Group$) and will be addressed in more details in turn.

Group specific effects

The effect of I_1 on length reports was significantly different between groups ($I_1 \times Group$), suggesting distinct scaling relations between the informational variable and the to-be-perceived property (i.e., different calibration). Children in the TD group changed their perceptual reports more than children with ADHD as a function of changes in I_1 . As noted, the effect of I_1 on length reports was modified by wielding dynamics in different ways by children with and without ADHD. For TD children, the effect of I_1 was emphasized when PC_{hand} was lower ($I_1 \times PC_{hand} \times Group$) and PC_{rod} was higher ($I_1 \times PC_{rod} \times Group$) and for children with ADHD, the effect of I_1 was emphasized when PC_{hand} was higher ($I_1 \times PC_{hand}$) and PC_{rod} was lower ($I_1 \times PC_{rod}$). In conjunction, these results support our second hypothesis and will be addressed in more details in the general discussion.

Table 3: Linear mixed effect regression model for length reports.

Predictor	B	SE	p value
Intercept	30.05	1.62	< .0001
I_1	1886.36	134.48	< .0001
PC_{hand}	-61.91	15.58	< .0001
PC_{rod}	12.24	9.320	.19
$PC_{rod} \times PC_{hand}$	-93.58	35.62	< .01
$PC_{rod} \times Trial$	-.3997	.4300	.34
$PC_{hand} \times Trial$	2.436	.8224	< .01
$PC_{rod} \times PC_{hand} \times Trial$	62.846	2.678	< .05
$I_1 \times Group$	513.28	182.92	< .01
$PC_{hand} \times I_1 \times Group$	-5138.99	2398.04	< .05
$PC_{rod} \times I_1 \times Group$	3494.03	1285.99	< .01
$PC_{hand} \times I_1$	5025.08	1742.40	< .01
$PC_{rod} \times I_1$	-2865.49	1157.78	< .05
Trial	-.0424	.0616	.50
Group	2.258	2.253	.32
$PC_{rod} \times Group$	-5.927	9.861	.55
$PC_{hand} \times Group$	3.228	1.766	.07

B = coefficient; SE = standard error of coefficient estimation.

General Discussion

The present study provides empirical evidence that dynamic touch is affected in children with ADHD adding to the growing literature about perceptual deficits in this population (cf. [52] for review). Results reinforce the need to study the implications of perceptual deficits in general and dynamic touch in particular to the challenging functional problems presented by children with ADHD. Children with ADHD underestimated the magnitudes of rod length, in particular for longer rods (Fig 3). Notably, a similar pattern of performance was demonstrated by children with DCD [20]. ADHD and DCD are developmental disorders that present common characteristics such as difficulty in tasks that require manipulation of objects [4,53]. Therefore, deficits in dynamic touch may be at the basis of difficulties in manual skills presented by children with these (commonly co-occurring) medical conditions.

One might interpret the underestimation of object length observed in children with ADHD and DCD as signaling a generally reduced receptivity of mechanical stimulation. This interpretation would be consistent with evidence of lower activation of neural areas related to somatosensory perception [54-56] (cf. [53]). However, if deficits in dynamic touch were a simple function of impaired neural receptivity, underestimation would be similar across rods or, at best, differences in performance would be reduced for rods with higher I_1 that provide relatively greater magnitudes of mechanical stimulation. The opposite was true for both children with ADHD (present study) and DCD [20]. Thus, this pattern of result would be consistent with differences in *how* mechanical information supporting dynamic touch is used.

The results of our regression model indeed supports this assertion: while children in both groups (ADHD and TD) increased length reports with increases in I_1 , changes in perceived length associated with changes in I_1 were less pronounced in children with ADHD (Table 3). The lower emphasis on I_1 can explain their lower accuracy and reliability in the task when compared to TD children (Fig 3). Together, these results suggest that children with ADHD were sensitive to moment-to-moment variations in the value of I_1 , but were relatively less sensitive to information about the appropriate scaling of I_1 to length that becomes available over longer time scales. In other words, these atypical developmental trajectories leave intact those mechanisms supporting information detection (i.e., the more or less instantaneous pick up of information) and rather affect calibration mechanisms refining use of

information over time.

We hypothesized that the dynamics of exploratory movements predict differences in the use of information by children with ADHD when compared to their TD peers. Results supported this hypothesis. There were significant differences between groups in *how* the fractality of exploratory movements of the rod and hand moderated children's emphasis on I_1 . In TD children, lower hand fractality and greater rod fractality was related to increased emphasis on I_1 (Table 3). In contrast, children with ADHD increased emphasis on I_1 when the exploratory movement was characterized by greater hand fractality and lower rod fractality (Table 3).

It is not fully clear at this point what underlies the particular differences between groups in how fractality was related to the use of I_1 . However, previous studies that investigated the effect of rod vibration on dynamic touch performance provide grounds for an initial speculation [37,38]. Results showed an increased emphasis on I_1 over time associated with striking, adding to recent results implicating the role of rod vibrations in perceptual calibration even when instructions to participants only entail firm grasp and wielding [37,38]. As noted, when lower fractality of the hand's exploratory movement co-occurred with high fractality of the rod's movement, sensitivity to I_1 increased in TD children. This result may indicate that when TD children constrained hand motions during exploration so as to enhance stimulation by richly structured rod vibrations within the hand, their perceptual performance became more tightly coupled to the relevant informational parameter, possibly through a process of self-guided calibration.

Children with ADHD commonly present excessive, mildly disorganized overt motor activity and, thus, are less prone to constrain hand motions and direct their processes of stimulation. It is possible, nonetheless, that in trials where children with ADHD demonstrated higher movement fractality, the less ordered overt motions produced by children with ADHD resulted in a general increase in perceptual sensitivity. In particular, greater fractality in hand motions suggests stronger interactions of overt exploratory activity across scales, which can be expected to promote more efficient information sampling and, thereby, explain the increased emphasis on I_1 (e.g., see [46] for a discussion of fractal systems as "space filling"). The implication is that, with the right level of fractality, the seemingly irrelevant motor activity of children with ADHD might play a nonobviously functional role.

A potential functional role of hyperactivity has indeed been previously

demonstrated. For example, Sarver *et al.* [57] have shown that the level of performance in a memory task by children with ADHD was directly proportional to the degree of unrelated motor activity they produced during task performance. It is possible that the heightened motor activity enhanced multi-scale fluctuations that increase perceptual awareness of the environment, freeing up resources for the cognitive task. If this hypothesis is confirmed, cognitive-behavioral interventions designed to directly reduce excessive movements should be reconsidered ([58-60]). At a larger scale, beyond the specific scale of ADHD research, converging lines of research in movement science and in biological sciences more generally are pointing increasingly towards clearer appreciation that higher-dimensional, “noisier,” more random or stochastic processes are a key part of healthy developmental trajectories [61-64]. The notion of noise supporting biological order is not exactly new [65], but it can be “nonobvious” or seem “unrelated” to researchers not knowing to seek evidence of its role [66], and that evidence can go entirely undetected with modeling that does not make it explicit [67]. The present work is the latest example of how motor variability can be a window on the development of individual differences in perceptual-motor response—a window made clearer in some cases by fractal modeling [30,68,69].

An immediate question for clinical applications of this insight might be: So, if “noisy” movements can support developmental trajectories, can we leverage endogenous fluctuations with unobtrusive noise-based interventions and therapies? The short answer seems to be “yes.” Noise based stimulation below sensory threshold can make both posture and gait more stable when applied to the plantar surface of the foot [70-72] and can make breathing more regular when applied to an infant’s mattress [73,74]. These noise-based stimulations appear to work better for individuals with greater apparent pathology or instability [75,76]. Perhaps, noise-based interventions may provide an unobtrusive but fruitful way to facilitate functional performance of children with ADHD [77].

Conclusion

The present study showed that children with ADHD have deficits in dynamic touch that may be crucial for the organization of effective, task and context sensitive movement patterns. These deficits were manifested as reduced sensitivity to mechanical information that supports perception of object properties by wielding.

Importantly, differences in haptic perceptual performance between children with and without ADHD were related to the temporal correlations (degree of fractality) observed in the subtle, seemingly irrelevant fluctuations of exploratory movements. In general lines, this result can be taken to reflect differences in the coordination of multiscale processes involved in information sampling and use (e.g., coordination of the moment-to-moment pick up of information with the longer time-scale processes that support appropriate calibration). Future studies using a learning paradigm can be designed to better gauge the adaptability of perceptual performance of children with ADHD when explicit knowledge of results is provided over time.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge all participants, members of the Núcleo de Investigações sobre a Impulsividade e Atenção (NITIDA), and Isabel Gomes and Gabriela Silvestrini for help in data collection. Financial support for this study was granted by the Brazilian government agencies National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Coordination for the Improvement of Higher Level Personnel (CAPES) and by the Research Support Foundation from the State of Minas Gerais (FAPEMIG). DGKS acknowledges the generous internal support from Grinnell College.

References

1. American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders, Fifth Edition. Washington, DC: American Psychiatric Association; 2013. pp. 1-947.
2. Dunn L, Coster WJ, Orsmond GI, Cohn ES. Household task participation of children with and without attentional problems. *Phys Occupat Ther Pediatrics* 2009; 29: 258-273.
3. Kawabata Y, Tseng WL, Gau SSF. Symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder and social and school adjustment: the moderating roles of age and parenting. *J Abnormal Child Psychol* 2012;40: 177-188.
4. Kaiser ML, Schoemaker MM, Albaret JM, Geuze RH. What is the evidence of impaired motor skills and motor control among children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)? Systematic review of the literature. *Res Developmental Disabil* 2015;36: 338-357.
5. Lavasani NM, Stagnitti K. A study on fine motor skills of Iranian children with attention deficit/hyper activity disorder aged from 6 to 11 years. *Occupat Ther Intl* 2011;18: 106-114.
6. Scharoun SM, Bryden PJ, Otipkova Z, Musalek M, Lejcarova A. Motor skills in Czech children with attention-deficit/hyperactivity disorder and their neurotypical counterparts. *Res Developmental Disabil* 2013;34: 4142-4153.
7. Pan, C. Y., Tsai, C. L., & Chu, C. H. (2009). Fundamental movement skills in children diagnosed with autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 39(12), 1694.
8. Carello C, Silva PL, Kinsella-Shaw JM, Turvey MT. Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. *Brazil J Phys Ther* 2008;12: 339-350.

9. Gibson JJ. The senses considered as perceptual systems. Boston, MA: Houghton Mifflin; 1966. pp. 1-335.
10. Turvey MT. Dynamic touch. *Am Psychol* 1996;51: 1134–1152.
11. Turvey MT, Carello C. Dynamic touch. In: Epstein W, Rogers S, editors. Perception of space and motion. New York: Academic Press; 1995. pp. 401-490.
12. Fitzpatrick P, Carello C, Turvey MT. Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the “muscular sense”. *Neurosci* 1994;60: 551-568.
13. Turvey MT, Burton G, Amazeen EL, Butwill M, Carello C. Perceiving the width and height of a hand-held object by dynamic touch. *J Exp Psychol Hum Percept Perf* 1998;24: 35–48.
14. Carello C, Kinsella-Shaw J, Amazeen, EL, Turvey, MT. Peripheral neuropathy and object length perception by effortful (dynamic) touch: A case study. *Neurosci Lett* 2006;405: 159–163.
15. Amazeen EL. Perceptual independence of size and weight by dynamic touch. *J Exp Psychol Hum Percept Perf* 1999;25: 102-119.
16. Carello C, Thuot S, Anderson KL, Turvey MT. Perceiving the sweet spot. *Percept* 1999;28: 307-320.
17. Kloos H, Amazeen EL. Perceiving heaviness by dynamic touch: An investigation of the size-weight illusion in preschoolers. *Brit J Developmental Psychol* 2002;20: 171–118.
18. Fitzpatrick P, Flynn N, Dynamic touch perception in preschool children. *Ecol Psychol* 2010;22: 89-118.
19. Ocarino JM, Fonseca ST, Silva PL, Gonçalves GG, Souza TR, Mancini, MC. Dynamic touch is affected in children with cerebral palsy. *Hum Mov Sci* 2014;33: 85-96
20. Wade MG, Tsai CL, Stoffregen T, Chang CH, Chen FC. Perception of object length via manual wielding in children with and without developmental coordination disorder. *J Mot Behav* 2016;48: 13-19.
21. Pagano CC, Fitzpatrick P, Turvey MT. Tensorial basis to the constancy of perceived object extent over variations of dynamic touch. *Percept Psychophys* 1993;54: 43-54.
22. Palatinus Z, Kelty-Stephen DG, Kinsella-Shaw J, Carello C, Turvey MT. Haptic perceptual intent in quiet standing affects multifractal scaling of postural fluctuations. *J Exper Psychol Human Percept Perf* 2014;40: 1808-1818.
23. Palatinus Z, Dixon JA, Kelty-Stephen DG. (2013). Fractal fluctuations in quiet standing predict the use of mechanical information for haptic perception. *Ann Biomed Eng* 2013;41: 1625-1634.
24. Burton G, Turvey MT. Attentionally splitting the mass distribution of hand-held rods. *Percept Psychophys* 1991;50: 129-140.
25. Stoffregen TA. Flow structure versus retinal location in the optical control of stance. *J Exp Psychol Hum Percept Perf.* 1985;11: 554-565.
26. Stoffregen TA. The role of optical velocity in the control of stance. *Percept Psychophys.* 1986;39: 355-360.
27. Stoffregen TA, Riccio GE. Responses to optical looming in the retinal center and periphery. *Ecol Psychol.* 1990;2: 251-274.
28. Stoffregen TA, Yang C-M, Bardy BG. Affordance judgments and nonlocomotory body movements. *Ecol Psychol.* 2005;17: 75-104.
29. Riley MA, Wagman JB, Santana MV, Carello C, Turvey MT. Perceptual behavior: Recurrence analysis of a haptic exploratory procedure. *Percept* 2002;31: 481-510.
30. Kelty-Stephen DG, Dixon JA. Interwoven fluctuations during intermodal perception: Fractality in head sway supports the use of visual feedback in haptic perceptual judgments by manual wielding. *J Exper Psychol Hum Percept Perf* 2014;40: 2289-2309.
31. Stephen DG, Arzamarski R, Michaels CF. The role of fractality in perceptual learning: exploration in dynamic touch. *J Exper Psychol Hum Percept Perf* 2010;36: 1161.
32. Stephen DG, Hajnal A. Transfer of calibration between hand and foot: Functional equivalence and fractal fluctuations. *Attent Percept Psychophys* 2011;73: 1302-1328.
33. Michaels CF, Arzamarski R, Isenhower RW, Jacobs DM. Direct learning in dynamic touch. *J Exper Psychol Hum Percept Perf* 2008;34: 944-957
34. Withagen R, Michaels CF. The role of feedback information for calibration and attunement in perceiving length by dynamic touch. *J Exper Psychol Hum Percept Perf* 2005;31: 1379-1390.

35. Hajnal A, Clark JD, Doyon JK, Kelty-Stephen DG. Fractality of body movements predicts perception of affordances: Evidence from stand-on-ability judgments about slopes. *J Exper Psychol Hum Percept Perf* 2018;44: 836-841.
36. Barkley RA. Behavioral inhibition, sustained attention, and executive functions: constructing a unifying theory of ADHD. *Psychol Bull* 1997;121: 65-94.
37. Kelty-Stephen DG, Eddy CL. Self-trained perception need not be veridical: striking can exaggerate judgment by wielding and can transfer exaggeration to new stimuli. *Attent Percept Psychophys* 2015;77: 1854-1862.
38. Stephen DG, Arzamarski R. Self-training of dynamic touch: Striking improves judgment by wielding. *Attent Percept Psychophys* 2009;71: 1717-1723.
39. Pasquali L, Wechsler S, Bensusan E. Matrizes Progressivas do Raven Infantil: um estudo de validação para o Brasil. *Avaliação Psicológica Interam J Psychol Assess* 2002;1: 95-110.
40. Mattos P, Pinheiro MA, Rohde LAP, Pinto D. Apresentação de uma versão em português para uso no Brasil do instrumento MTA-SNAP-IV de avaliação de sintomas de transtorno do déficit de atenção/hiperatividade e sintomas de transtorno desafiador e de oposição. *Revista Psiquiatria Rio Grande Sul. Porto Alegre* 2006;28: 290-297.
41. Carello C, Turvey MT. Rotational invariants and dynamic touch. In: Heller M, editor. *Touch, representation and blindness*. New York: Oxford University Press; 2000. pp. 27-66.
42. Hajnal A, Fonseca S, Harrison S, Kinsella-Shaw, J, Carello C. Comparison of dynamic (effortful) touch by hand and foot. *J Mot Behav* 2007;39: 82-88.
43. Peng CK, Buldyrev SV, Havlin S, Simons M, Stanley, HE, Goldberger AL. Mosaic organization of DNA nucleotides. *Phys Rev E* 1994;49: 1685-1689.
44. Coey CA, Washburn A, Hassebrock J, Richardson MJ. (2016). Complexity matching effects in bimanual and interpersonal syncopated finger tapping. *Neurosci Lett* 2016;616: 204-210.
45. Ihlen EAF. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab. *Front Physiol* 2012;3: 141.
46. Eke A, Herman P, Kocsis L, Kozak LR. (2002). Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals. *Physiol Meas* 2002;23: R1-R38. <http://dx.doi.org/10.1088/0967-3334/23/1/201>
47. Goodman L, Riley MA, Mitra S, Turvey MT. (2000). Advantages of rhythmic movements at resonance: minimal active degrees of freedom, minimal noise, and maximal predictability. *J Mot Behav* 2000;32: 3-8.
48. Kuznetsov N, Wallot S. (2011). Effects of accuracy feedback on fractal characteristics of time estimation. *Front Integr Neurosci* 2011;5: 62.
49. Stephen DG, Dixon JA. The self-organization of insight: Entropy and power laws in problem solving. *J Problem Solving* 2009;2: 72-101.
50. Van Orden G. Voluntary performance. *Medicina* 2010;46: 581-594.
51. Stephen DG, Holden JG, Mirman D, Dixon JA. Multifractal dynamics in the emergence of cognitive structure. *Topics Cognit Sci* 2012;4: 51-62.
52. Ghanizadeh A. Sensory processing problems in children with ADHD, a systematic review. *Psychiatr Investig* 2011;8: 89-94
53. Goulardins JB, Rigoli D, Licari M, Piek JP, Hasue RH, Oosterlaan J, Oliveira JA. Attention deficit hyperactivity disorder and developmental coordination disorder: Two separate disorders or do they share a common etiology. *Behav Brain Res* 2015;292: 484-492
54. McLeod KR, Langevin LM, Goodyear BG, Dewey D. Functional connectivity of neural motor networks is disrupted in children with developmental coordination disorder and attention-deficit/hyperactivity disorder. *NeuroImage Clin* 2014;4: 566-575.
55. Querne L, Berquin P, Vernier-Hauvette, MP, Fall S, Deltour L, Meyer ME *et al.* Dysfunction of the attentional brain network in children with developmental coordination disorder: a fMRI study. *Brain Res* 2008;1244: 89-102.
56. Yu-Feng Z, Yong H, Chao-Zhe Z, Qing-Jiu C, Man-Qiu S, Meng, L. *et al.* Altered baseline brain activity in children with ADHD revealed by resting-state functional MRI. *Brain Develop* 2007, 29(2): 83-91.
57. Sarver DE, Rapport MD, Kofler MJ, Raiker JS, Friedman LM. Hyperactivity in attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): Impairing deficit or compensatory behavior?. *J Abnormal Child Psychol* 2015;43: 1219-1232.

58. Tryon W, Tryon G, Kazlauskas T, Gruen W, Swanson J. Reducing hyper-activity with a feedback actigraph: initial findings. *Clinical Child Psychology and Psychiatry* 2006;11: 607–617.
59. Barkley RA. Psychosocial treatments for attention-deficit/hyperactivity disorder in children. *J Clin Psychiatr* 2002;63:36–43.
60. Wells KC, Pelham WE, Kotkin RA, Hoza B, Abikoff HB, Abramowitz, A. *et al.* Psychosocial treatment strategies in the MTA study: Rationale, methods, and critical issues in design and implementation. *J Abnormal Child Psychol* 2000;28: 483-505.
61. Sternad D. It's not (only) the mean that matters: Variability, noise, and exploration in skill learning. *Curr Opin Behav Sci* 2018;20: 183-195.
62. McDonnell M, Ward L. What is stochastic resonance? Definitions, misconceptions, debates, and its relevance to biology. *PLoS Comput Biol* 2009;5:e1000348.
63. McDonnell M, Ward L. The benefits of noise in neural systems: Bridging theory and experiment. *Nat Rev Neurosci* 2011;12: 415-426.
64. Cluff T, Balasubramaniam R. Motor learning characterized by changing Levy distributions. *PLoS ONE* 2009;4: e5998.
65. Turing AM. The chemical basis of morphogenesis. *Phil Trans Royal Soc Lond B* 1952;237, 37-72
66. Gottlieb G. On the epigenetic evolution of species-specific perception: The developmental manifold concept. *Cognit Develop* 2007;17: 1287-1300.
67. Molenaar PCM. On the implications of the classical ergodic theorems: Analysis of developmental processes has to focus on intra-individual variation. *Developmental Psychobiol* 2008;50: 60-69.
68. Ashkenazy Y, Hausdorff JM, Ivanov PCh, Stanley HE. A stochastic model of human gait dynamics. *Physica A* 2002;316: 662-670.
69. Carver NS, Bojovic D, Kelty-Stephen DG. Multifractal foundations of visually-guided aiming and adaptation to the prismatic perturbation. *Hum Mov Sci* 2017;55: 61-72.
70. Galica A, Kang H, Priplata A, D'Andrea S, Starobinets O, Sorond F *et al.* Subsensory vibrations to the feet reduce gait variability in elderly fallers. *Gait Posture* 2009;30: 383-387.
71. Lipsitz LA, Lough M, Niemi J, Trivison T, Howlett H, Manor B. A shoe insole delivering subsensory vibratory noise improves balance and gait in healthy elderly people. *Arch Phys Med Rehab* 2015;96: 432-439.
72. Priplata A, Niemi J, Harry J, Lipsitz L, Collins J. Vibrating insoles and balance control in elderly people. *Lancet* 2003;362: 1123-1124.
73. Bloch-Salisbury E, Indic P, Bednarek F, Paydarfar D. Stabilizing immature breathing patterns of preterm infants using stochastic mechanosensory stimulation. *J Appl Physiol* 2009;107: 1017-1027.
74. Smith VC, Kelty-Stephen DG, Qureshi Ahmad M, Mao W, Cakert K, Osborne J *et al.* Stochastic resonance effect on apnea, bradycardia, and oxygenation: A randomized controlled trial. *Pediatrics* 2015;136: e1561-e1568
75. Priplata A, Patriitti BL, Niemi JB, Hughes R, Gravelle DC, Lipsitz LA *et al.* Noise-enhanced balance control in patients with diabetes and patients with stroke. *Ann Neurol* 2006;59: 4-12.
76. Stephen DG, Wilcox BJ, Niemi JB, Franz J, Kerrigan DC, D'Andrea SE. Baseline-dependent effect of noise-enhanced insoles on gait variability in healthy elderly walkers. *Gait Posture* 2012;38: 537-540.
77. Sikström S, Söderlund G. Stimulus-dependent dopamine release in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychological Rev* 2007;114: 1047-1075.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Figure 1

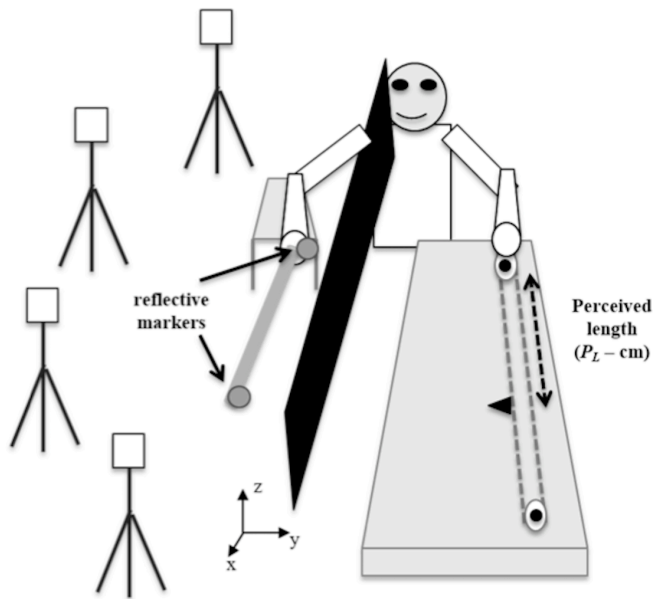


Figure 2

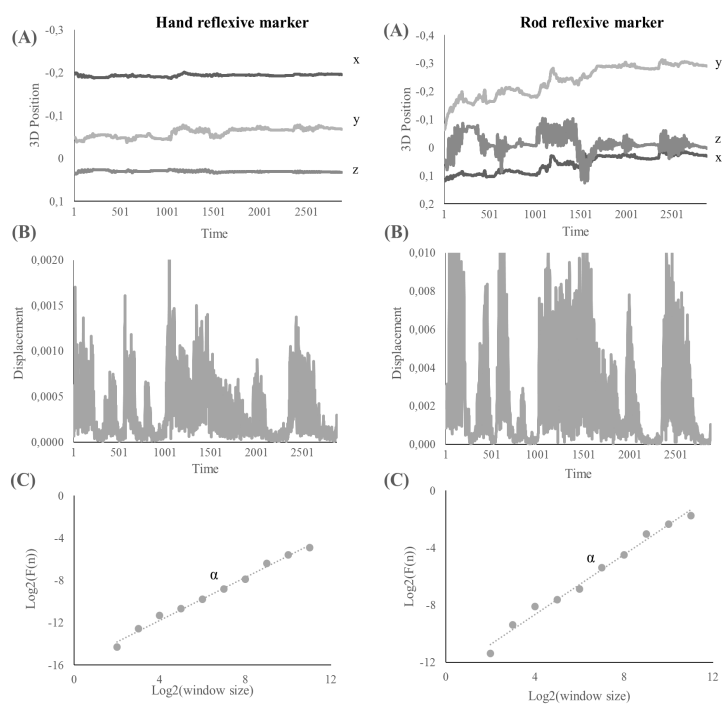
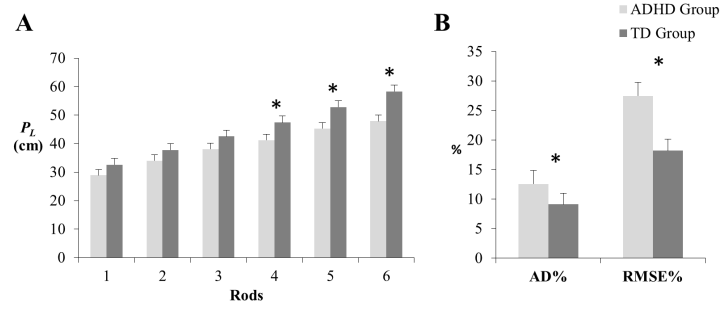


Figure 3



5 ARTIGO 2²

Title: Postural flexibility predicts differences in motor and cognitive performance of children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder in a dual-task paradigm

² Este artigo está formatado para submissão ao periódico internacional *Journal of Attentional Disorders*.

Abstract

Objective: This study investigated whether postural flexibility explains the motor and cognitive performance difficulties of children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). **Method:** Thirty-four children (ADHD: 17; typical development: 17) performed a motor and cognitive task simultaneously while standing on a force plate. Postural flexibility was measured using Sample Entropy in the center of pressure (COP) trajectory. Two linear regression models tested the predictive value of postural flexibility in motor and cognitive performance. Cluster analysis grouped the children in relation to the outcome variables. **Results:** The performance difficulties of children with ADHD were explained by low postural flexibility. Three clusters identified children with similar performance patterns in relation to our variables. **Conclusion:** Postural flexibility should be targeted in the evaluation process to understand the functional difficulties of children with ADHD.

1. Introduction

Attention-Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is a neurodevelopmental condition characterized mainly by symptoms of inattention, hyperactivity and/or impulsivity experienced in different contexts (American Psychiatric Association [APA], 2013). The presence of these symptoms compromises the cognitive and motor functions of these children, resulting in difficulties to perform both physical and cognitive activities as well as more complex tasks of the school and home routines (Cortese, 2018; Kaiser *et al.*, 2015; Kawabata, Tseng, Gau, 2012; Dunn *et al.*, 2009).

Children with ADHD show neuropsychological disorders commonly manifested by difficulties in tasks involving attention and executive function, including selective attention, divided attention, response inhibition and working memory (Fuermaier *et al.*, 2015; Lange *et al.*, 2014; Thome *et al.*, 2012; Tucha *et al.*, 2008). In addition to the classic neurobehavioral symptoms and difficulties in cognitive function, it is estimated that motor performance difficulties are present in about 30-50% of children diagnosed with ADHD (Kaiser *et al.*, 2015).

Studies have shown that, even in the absence of comorbidities (e.g., Developmental Coordination Disorder - DCD) and when compared to typical development (TD) children, children with ADHD have difficulties in fine and gross motor skills (Kaiser *et al.*, 2015; Harvey *et al.*, 2009). Specifically, these children show deficits in locomotor skills (e.g., jumping, kicking, galloping, and running), balance and manual dexterity (Kaiser *et al.*, 2015; Mao *et al.*, 2014; Scharoun *et al.*, 2013; Pan, Tsai, Chu, 2009; Tseng *et al.*, 2004). In addition, the evidence shows these motor difficulties interfere with daily activities such as writing, walking and talking, sitting and listening to the teacher in the classroom (Brossard-Racine *et al.*,

2011; Junod *et al.*, 2006; Pan *et al.*, 2006; Lawrence *et al.*, 2002) and/or the practice of sports, for example, activities involving control and ball handling (Pan *et al.*, 2015; Harvey *et al.*, 2009). As the functional performance of children with ADHD in various contexts of life is anchored in cognitive and motor skills, knowledge about the nature of these impairments may indicate possible mechanisms involved in everyday difficulties.

The motor impairments of children with ADHD are not characterized by a restricted repertoire of movement as is frequently observed in other clinical groups (e.g., cerebral palsy, Down syndrome), but rather a disorganized movement pattern known as *clumsiness* that impacts daily tasks (Kaiser *et al.*, 2015; Moruzzi *et al.*, 2010). One implication of this behavior is that direct measures of performance, for example tests that report on motor skills acquisition, do not seem to be sensitive to capture the disorganization of these children (Ozonoff *et al.*, 2008; Kroes *et al.*, 2002). Identification of motor disorganization requires the evaluation of characteristics that express the details involved in the organization of the movement. In this case, a possible candidate is postural flexibility.

Postural flexibility can be defined as the individual's ability to modify, vary and adapt posture appropriately to the task execution environment (Busquets *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2008; Davids, 2003). As an important feature in the organization of movement, this flexibility is usually manifested by variations in the structure of the center of pressure (COP) displacement. For example, to perform a reaching task, anticipatory adjustments in variations of the COP displacement occur to ensure the maintenance of the center of mass within the support surface and, consequently, the stability for the realization of the movement (Jucaite *et al.*, 2003; Frank & Earl, 1990). In addition, some studies highlight the role of postural flexibility in the success of

functional tasks performance (Busquets *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2008; Davids, 2003). Skilled athletes, for example, perform successfully not because they routinely maintain the same movement variability (i.e., lower postural flexibility), but because they are able to constantly vary the posture in a manner that is harmonic with the task context (Busquets *et al.*, 2016; Wilson *et al.*, 2008). Thus, given the importance of postural flexibility for success in task performance, it is possible to assume that this is a characteristic that underlines the difficulties of children with ADHD. Specifically, reduced postural flexibility that does not allow proper organization of movement in the context of the activity may explain the functional difficulties presented by these children, especially in tasks involving the simultaneous engagement of motor and cognitive components, which are therefore more challenging for this population (Manicolo, Grob, & Arx, 2017; Leitner, 2007; Lawrence *et al.*, 2002).

The characteristics of postural organization of children with ADHD have already been evaluated in some studies. In simple task situations (e.g., standing with eyes open vs. with eyes closed) it was shown that these children have greater postural oscillations when compared to TD children (Hassan & Azzam, 2012; Shorer *et al.*, 2012; Buderath *et al.*, 2009). This behavior was interpreted as a lower postural stability of children with ADHD, that is, a smaller capacity to remain in position without variation, which implies greater difficulty in dealing with environmental perturbations. In addition, when subjected to a dual-task (e.g., quiet stance + auditory task), inverse behavior was observed, that is, there was a reduction in postural oscillations, interpreted as greater postural stability of children with ADHD (Shorer *et al.*, 2012). Even with these changes in the postural behavior of children with ADHD in face of contextual changes, the focus of research in these studies was centered on

postural stability, not on postural flexibility and how this can impact task performance.

Understanding the mechanisms underlying the performance difficulties in motor and cognitive tasks of children with ADHD becomes relevant to delineate intervention programs that are effective. The assessment of postural flexibility may be a possible way to guide this understanding. The aim of the present study was to investigate whether the difficulties of children with ADHD in the execution of motor and cognitive tasks are related to their reduced postural flexibility. To accomplish this goal, we evaluated the postural flexibility as well as the motor and cognitive performance of children with ADHD in a dual-task paradigm. We hypothesized that: (1) children with ADHD will exhibit worse motor and cognitive performance, as well as reduced postural flexibility compared to TD children; (2) lower postural flexibility of children with ADHD will explain differences in performance between groups.

2. Method

2.1 Participants:

Seventeen children composed the ADHD group and 17 age-matched TD children comprised the TD group (age range, 8-13 years). Children with ADHD were diagnosed according to the DSM-IV by specialized medical professionals affiliated with a public outpatient clinic from the Hospital das Clínicas / Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Brazil. They underwent a semi-structured psychiatric diagnostic interview with the Brazilian version of the Schedule for Affective Disorders and Schizophrenia for School-Age Children-Present and Lifetime Version (K-SADS-PL) (Brasil & Bordon, 2010). Children with TD with no evidence of psychiatric or

neurological disorders reported by parents were recruited from the local community. Families of children with ADHD agreed not to administer medication for 24 hours prior to their experimental section. The university's ethics review committee approved the study (CAAE: 70234617.8.0000.5149). Parents gave written informed consent for their children to participate and assent was obtained from the child.

Before performing the experimental task, an experienced examiner screened the children for DCD, a frequent health condition associated with ADHD (Kadesjo & Gillberg, 1998), using the second edition of the Movement Assessment Battery for Children (MABC-2; Henderson, Sugden, & Barnett, 2007). Only children whose scores fell above the 5th percentile (i.e., not indicative of DCD) were included in both groups. All participants should be able to understand and cooperate with verbal instructions as indicated by their score on the Raven's Colored Progressive Matrices (Raven's CP; Pasquali, Wechsler, & Bensusan, 2002) (see Table 1).

Families filled out the Brazilian Economic Classification Criteria (CCEB) to determine their socioeconomic status. The CCEB gathers information about the purchasing power and general situation of households through questions about the possession of durable goods and the educational level of the head of the household. They also completed the Brazilian version of the Swanson, Nolan, and Pelham Questionnaire - version IV (SNAP-IV) (Mattos *et al.*, 2006) to identify the symptoms of ADHD. The SNAP-IV is an 18-item measure, with each item rated from zero ('not at all') to three ('very much') (Mattos *et al.*, 2006). The sum of the first nine items of this scale describes the total level of inattentive behaviors, and the sum of the other nine items reflects hyperactivity/impulsivity behaviors, making up its two subscales. Only children who had at least six items with scores 2 or 3 in at least one of the two subscales of the SNAP-IV were included in the ADHD group (APA, 2013). Children

who had less than six items with scores 2 or 3 in any subscale of the SNAP-IV were included in TD group.

2.2 Material and procedure:

We employed a dual-task paradigm, in which we asked participants to perform simultaneously, and to the best of their ability, a motor task demanding both speed and accuracy, and a cognitive task that taxed their working memory. Each task and supporting apparatus will be detailed in turn.

Motor task. Participants performed a reciprocal aiming task (known as Fitts' task) (Bongers *et al.*, 2009; Fitts, 1954) in which they had to move the distal point of a 50 cm-wooden rod back-and-forth to tap two targets, in alternation, positioned on a table in front of them (see Figure 1). Two of the Fitts' task parameters can be manipulated independently or simultaneously: the width of the targets (W) and the distance (D) that must be traveled to touch the targets. A single index that characterizes the demand of the Fitts' task or its difficulty, called index of difficulty (ID) can be estimated based on these two parameters. The index of difficulty is calculated with the formula $ID = \log_2(2D/W)$ (Huys *et al.*, 2010; Bongers *et al.*, 2009; Fernandez & Bootsma, 2004; Bootsma *et al.*, 2004; Guiard, 1993; Fitts, 1954). In the present study, we manipulated D (35 and 50 cm) and W was kept constant (2.25 cm radius), which led to two ID: $ID = 4.81$ for the easiest condition and $ID = 5.32$ for the most difficult task condition.

Targets were positioned on a table perpendicular to the position of the participant such that anterior-posterior motion of the hand-held rod was required to reach the targets (see Figure 1). Due to the shorter distance between the targets, the

condition with a lower ID required smaller dislocations of the center of mass (low difficulty) compared to the condition with a higher ID (high difficulty). Two trials of 40 seconds were performed in each condition, totaling four experimental trials. The order of presentation was randomized.

Participants performed the task in the upright position with a fixed base of support. The height of the table was adjusted so as to maintain its top aligned with children's greater trochanter. For the measurement of COP displacement, they stood barefoot on top of a 1x1 m strain gauge force plate (AMTI®, Advanced Mechanical Technology, OR6-6-1000). The medial sides of the heels were separated by 10 cm and each foot was placed with the toes outward at 10° angle from the sagittal midline. Foot positions were slightly adjusted across participants to guarantee their comfort. One examiner marked the final foot positions on the force platform with adhesive tape so that participants could easily return to the same base of support before the beginning of each trial.

An infrared reflective marker was placed on the distal extremity of the rod used to aim the targets (Figure 1). A motion analysis system (Qualisys Inc, Gothenburg, Sweden) with four properly calibrated ProReflex cameras captured the position of this marker over time during task performance. The displacement of reflective marker and COP trajectories (recorded by the force plate) were collected at a sampling rate of 100 Hz.

Cognitive task. Participants performed an auditory n-back task concomitantly with the motor task. We specifically employed the 1-back *spoken responses* design (Monk *et al.*, 2011). This task consists of a continuous sequence of pre-recorded numbers that is presented to the participant through a loud speaker. After the presentation of each number, the participant should speak aloud the number he/she

heard immediately before. For example, on hearing the sequence 5, 7, 9, 6, 1, a child performing 1-back would stay silent for the first digit, then say “5” after hearing 7, “7” after hearing 9, and so on (Figure 1). Each correct response received one point. Incorrect responses or no response were not scored. The maximum score in each trial was 23 points.

The n-back task has been used to evaluate cognitive performance of children with ADHD as young as seven years old (Jones *et al.*, 2018; Epstein *et al.*, 2011; Kobel *et al.*, 2009; Karatekin, Bingham, & White, 2009). In each experimental trial, 24 randomized numbers (between one and nine) were continuously presented in interstimulus intervals of 1.667 ms. The commercial software Audacity® (Cross-platform Sound Editor) delivered the stimuli for the n-back task, which started at the same moment the child initiated the motor task.

Participants were instructed to move as quickly as possible without missing the target and without sacrificing their performance on the cognitive task. If participants failed to hit a target at any point, the trial was interrupted and repeated. Participants were told, however, that they should not interrupt the motor task if they spoke out the wrong number or if they could not recall the correct answer. In case of mistakes, they simply had to focus on getting the next one right. Each correct response received 1 point. Before each recorded trial, participants were reminded of the task instructions and encouraged to perform at their maximal level both the motor and cognitive tasks. Rest periods were introduced between trials whenever the participant requested or when the examiner judged that the child was tired (e.g., signs of distraction, impatience).

Before data collection, the examiner demonstrated the dual-task and each child performed practice trials on each condition. They were encouraged to vary their

speed and find the one that allowed them to maintain the required accuracy while properly attending to the cognitive task. Practice lasted until participants showed complete understanding of the task. Specifically, participants practiced each experimental condition until they could hit the targets consistently at least 10 times in a row while following the procedure of the 1-back task.

Insert Figure 1

2.3 Data processing:

Performance on the motor task was measured by the mean movement time (MT) needed to bring the rod from one target to another (i.e., half-cycle time) in each of the two experimental conditions of task difficulty. It was computed from the low-pass-filtered position time series (cutoff frequency of 6 Hz) of the rod recorded by the motion capture system. Performance on the cognitive task was the sum of correct responses in each trial.

Postural flexibility was quantified using SampEn (Lake *et al.*, 2002; Richman & Moorman 2000). SampEn is a measure of predictability or regularity in a time series. This variable is computed as the negative logarithm of the conditional probability that two sequences that are similar for m points, remain similar at the next point, within a tolerance r (Richman & Moorman, 2000). While smaller SampEn values are associated with greater regularity of the time series (i.e., variability structure of the signal is more deterministic and less complex), higher SampEn values suggest lower

regularity of the time series (i.e., variability structure is less deterministic and thus more complex). Clinically, this means that smaller entropy values represent lower flexibility of the postural system while greater entropy values exemplify higher flexibility of the system. For the calculation of SampEn, we used the time series of COP position data – each consisting of 4000 data point samples, and values of $r = 0.10$ and $m = 4$ based on methods proposed by Ramdani *et al.*, (2009).

Before calculation of SampEn, the time series x and y were bi-directionally filtered (second-order low-pass Butterworth filter, cut-off frequency of 12.5 Hz). Subsequently, x and y were mean-centred and normalized by dividing those time series by their respective standard deviations (σ_x and σ_y). The series of COP displacement in two-dimensional space (i.e., length of the COP trajectory traveled per second) were obtained by Euclidean distance of each point in relation to the origin of the movement (see Donker *et al.*, 2008 for details). At this stage, data from two participants with ADHD had to be excluded due to technical problems with data capture in the force plate.

3. Analysis and Results

Participants

Table 1 shows the sample characteristics. Both groups were equivalent in sex, body weight, height, fluid intelligence, and families' socioeconomic status. As expected, groups were different in the total score of SNAP-IV.

Insert Table 1

Dual-task performance (motor and cognitive) and postural flexibility

Initial inspection of the data using box plot identified an outlier participant in the ADHD group (responses greater than 2.5 standard deviation of the overall sample mean), which was excluded from the analyses. Shapiro-wilk test and inspection of quantile–quantile plots determined that MT, 1-back performance and SampEn were normally distributed and suitable to traditional parametric techniques. Mixed analyses of variance (ANOVA) tested the effects of Group (TDAH and TD) as a between-subject factor and Task Difficulty (low difficulty / high difficulty) as within-subject factor on each dependent variable (MT, 1-back performance and SampEn). The mean of motor performance, cognitive performance, and postural flexibility across two trials of the same condition were considered in the analysis. The level of significance was set at $\alpha = 0.05$.

ANOVA revealed a significant main effect of Group for all dependent variables: MT, $F(1, 29) = 14.18, p < .001; \eta_p^2 = .33$; 1-back performance, $F(1, 31) = 11.99, p = .002; \eta_p^2 = .28$; and SampEn, $F(1, 29) = 6.40, p = .0017; \eta_p^2 = .18$. Children from the ADHD group showed lower motor performance (i.e., longer MT), lower cognitive performance and lower postural flexibility compared to TD children (Figure 2). ANOVA also revealed a significant Task Difficulty main effect for MT, $F(1, 29) = 19.36, p < .001; \eta_p^2 = .40$ and for SampEn, $F(1, 29) = 19.59, p < .001; \eta_p^2 = .40$. In the task condition with low difficulty, children had better motor performance (i.e., shorter MT) and higher postural flexibility (i.e., higher SampEn) compared to the task

condition of high difficulty (Figure 3). There was no significant main effect of Task Difficulty for 1-back performance and no significant interactions.

Insert Figure 2 and Figure 3

Relationship between postural flexibility and dual-task performance

Generalized linear models (GLM) tested whether postural flexibility was a predictor of motor and cognitive performance over and above the factors in the ANOVA (i.e., diagnosis and task difficulty). The models included as predictors SampEn, the significant effects of the ANOVA on each of the outcome variables (MT and 1-back performance) and the interactions between these factors. Pointedly, when MT was the response variable in the model, predictors were Group, Task Difficulty, SampEn and all interactions; when 1-back performance was the response variable, predictors included Group, SampEn and Group x SampEn interaction. Analyses were conducted using SPSS software and the level of significance was set at $\alpha = 0.05$.

As seen in table 2, only SampEn was a significant predictor in both models. Specifically, higher SampEn was associated, on average, with shorter MT and greater 1-back performance. The other variables, as well as all the interaction factors, were not significant after the inclusion of SampEn in the model. Thus, SampEn was able to predict the motor and the cognitive performance of children, regardless of their health condition (expressed by the absence of the Group effect)

and the difficulty of the task in the case of MT.

Insert Table 2

In light of these results, cluster analysis was conducted to identify grouping(s) of participants based on information from postural flexibility, cognitive and motor performance. In other words, we attempted to understand how children grouped in relation to the outcome variables of the present study.

Grouping of children according to dual-task performance and postural flexibility

Cluster analysis grouped participants according to MT, 1-back performance and SampEn. The basic principle of this method consists of identifying maximally heterogeneous groups of participants with homogeneous information within each group. Thus, subjects in each group tend to be similar to each other, but different from subjects in other clusters. We used the agglomerative hierarchical technique (Ward's linkage clustering) based on the sum of squares between groups (Ward, 1963). The measure of dissimilarity followed the Euclidian distance between the subjects along the variables. The final number of clusters was determined by maximizing the Calinski–Harabasz pseudo-F statistic that reflected the maximum variation between-cluster and minimum variation within-cluster (sum of squares is minimized).

Cluster analysis revealed three groupings and Pearson chi-square ($\chi^2 = 12.06$

$p = .002$) demonstrated significant association between clusters and groups (TDAH, TD). In general, Cluster 1 was predominantly composed of TD children, who presented higher motor ($p = 0.022$) and cognitive performance ($p = 0.0001$) when compared to the other clusters. Cluster 2 consisted of a combination of TD children and children with ADHD (similar proportion) with intermediate motor and cognitive performance. Finally, Cluster 3 was composed mostly of children with ADHD who presented lower values of motor and cognitive performance. The descriptive characteristics of each cluster are shown in Table 3 and behavior of each grouping in relation to the difficulty of the task is shown in Figure 4.

Insert Table 3 and Figure 4

4 Discussion

The present study demonstrated that the difficulties of children with ADHD in the dual-task are strongly related to their postural flexibility expressed by SampEn. Specifically, children with ADHD had lower postural flexibility and this, in turn, explained the lower motor and cognitive performance of this group in relation to TD children. In addition, our results also revealed that the response of children with ADHD and TD in relation to our outcome variables is not homogeneous, so that differentiating them only by diagnosis may not characterize their real behavior. To our knowledge, this is the first study to investigate the relationship between postural

flexibility and dual-task performance of children with ADHD, and thus opens new opportunities to understand the possible mechanisms involved in the functional difficulties of these children.

Confirming evidence from the literature, the results of our study showed worse cognitive and motor performance of children with ADHD compared to TD children (Figure 2A and 2B). While the task of n-back is extensively used to assess cognitive abilities (Jones *et al.*, 2018; Epstein *et al.*, 2011; Kobel *et al.*, 2009; Karatekin, Bingham & White, 2009), the Fitts' task is still used discreetly in the condition of ADHD (Papadopoulos *et al.*, 2015). However, even with a motor task not frequently used with this population, the experimental paradigm proposed in the present study was valid. Our results respected the characteristics of the task (i.e., speed and accuracy), evidencing higher MT in the condition of higher task ID (Figure 3A), and more importantly, children with ADHD had longer MTs compared to TD children (Figure 2A). Therefore, our study design was able to capture the performance difficulties of children with ADHD, thus allowing us to explore the role of postural flexibility.

Postural flexibility is an outcome not yet investigated in children with ADHD. This characteristic has been investigated in other clinical populations, for example in children with cerebral palsy, patients with Parkinson's disease, stroke patients, among others (Donker *et al.*, 2008; Schmit *et al.*, 2006; Roerdink *et al.*, 2006; Cavanaugh *et al.*, 2006). Similarly to the present study (Figure 2C), individuals with other clinical conditions had less postural flexibility compared to healthy subjects when submitted to different experimental manipulations (e.g., orthostatic posture associated with cognitive task or visual feedback). Our results corroborate with previous evidence that individuals with clinical disorders exhibit a tendency of

showing less skilled movements when performing tasks in different conditions.

A possible explanation for the lower postural flexibility of children with ADHD is based on the dynamic coordination of biological processes (i.e., perceptual, motor and cognitive) that are necessary to maintain posture and thus interfere with task performance (Clark & Riley, 2007). Considering that postural maintenance consists of an active process, it is theorized that postural flexibility reflects how well coordinated the postural system is to detect environmental information that allows it to move and successfully perform daily functions (Clark & Riley, 2007). This premise is also reflected in the operationalization of this characteristic in the study (e.g., SampEn), which informs about the structure of movement variability, that is, the quality of movement over time, and not only the amount of movement as the traditional measures of postural evaluation (e.g., how much the COP moves around) (Davids *et al.*, 2003; Riley & Turvey, 2002). Lower flexibility (i.e., lower SampEn values) may indicate a less effective postural organization strategy to deal with the constant variations of environmental demands, reflecting a weak coupling in the coordination of the biological processes that support the action. Our results show that children with ADHD have an inefficient postural strategy compared to TD children, which explained differences in motor and cognitive performance.

Another possible explanation for reduced postural flexibility in these children may be related to a haptic perceptual deficit. It is known that postural maintenance requires, among other factors, adjustments in the muscular activities that are guided, in normal situations, by the haptic perceptual system (Clark & Riley, 2007; Horak, 1990). Deficits or complete absence of this perceptual capacity result, for example, in difficulty to maintain posture, so that it is only sustained through explicit cognitive effort, which makes it impossible to perform other activities (Cole & Paillard, 1995). In

association with the results of the present study, these examples provide insights that this may be a potential system that compromises the postural flexibility of these children. Specifically, children with ADHD may need more cognitive resources to organize and maintain their posture due to deficits in the haptic perceptual system, thereby compromising the performance of other concomitant tasks. This argument is based on studies that have already shown perceptual deficit in this population (Ghanizadeh, 2010) and its influence on posture (Shum & Pang, 2009), as well as on evidence that lower postural flexibility is a marker of greater cognitive investment for the maintenance of posture (Roerdink *et al.*, 2011; Donker *et al.*, 2008; Donker *et al.*, 2007; Roerdink *et al.*, 2006). If this is the case, interventions in the perceptual system should be considered to positively impact the postural flexibility of these children and, consequently, their functionality.

In the condition of greater complexity of the motor task (Fitt's task greater ID), both groups demonstrated a decrease in motor performance (Figure 2A), which was also accompanied by a reduction of postural flexibility (Figure 2B). However, even under a high demand of the dual-task, the cognitive performance of these children was not impacted, as evidenced by the absence of the main effect task difficulty in the 1-back score. These results suggest that in the condition of greater motor demand from a dual-task, both children with ADHD and TD were able to preserve cognitive performance in spite of a decrease in motor performance. In a dual-task paradigm, Shorer *et al.* (2012) did not find differences in performance of the cognitive task (auditory memory task) of children with ADHD and TD in quiet stance (i.e., standing upright as still as possible) over a force plate, although they had observed a change in the amount of oscillation of the COP. Even in the absence of different demands on the motor task and using other measures to evaluate the postural

mechanisms, the results of Shorer *et al.* (2012) also showed that children with ADHD modified the posture organization without further compromising cognitive activity. However, it should be pointed out that our dual-task paradigm with challenging demands based on the degrees of motor task complexity has not yet been tested in children with ADHD. This paradigm allowed investigate the motor and cognitive performance, and postural flexibility simultaneously, which was not observed in the previous studies.

Although in the present study children with ADHD showed worse motor and cognitive performance, followed by a reduced postural flexibility when compared to TD children, this behavior was not uniform among these children. Cluster analysis produced new groupings of children over and above the diagnosis (Table 3). The formation of three clusters revealed the presence of children with ADHD with worse motor and cognitive capacities (Cluster 3), and children with ADHD and TD with similar behaviors (Cluster 2) (Table 3; Figure 4). In addition, it is emphasized that there was no descriptive characteristic of ADHD that was specific to any of the clusters. We did not find clinical symptoms of children with ADHD that could specifically identify the participants grouped in one or more of the clusters based on the outcome variables of the present study (Table 3). These results point to the importance of considering information on motor and cognitive performance to determine functional performance of TD and ADHD children that is, in fact, heterogeneous.

Some characteristics of the present study may limit the generalization of the results. Our sample consisted predominantly of children with ADHD of the combined type (76% of the sample). Although evidence points to this type as being the most prevalent in clinical settings (Willcutt, 2012), further studies with a varied ADHD

profile are needed to verify if the results remain similar. In addition, it is emphasized that children with ADHD were evaluated in the absence of medication for a 24 hours period. Our intent was to evaluate these children without the interference of any element that might affect their motor ability as well as cognitive ability. Future studies may evaluate the effects of medication on the proposed experimental conditions and outcome variables.

5. Conclusion

The present investigation demonstrated that reduced postural flexibility was associated with lower dual-task performance in children with ADHD. This indicates that children with ADHD exhibit a less adaptive postural system to deal with context demands. In addition, unlike the initial disposition of participants in two groups, three clusters were formed including children with ADHD and TD in relation to motor and cognitive performance. Thus, the combination of these performances seems to be relevant for grouping children with characteristics over and above the diagnosis. Taken together, these results point to a new knowledge about the nature of the functional deficits of children with ADHD and, therefore, suggest new contents to be included in the evaluation in this population.

References

American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.

Bongers RM, Fernandez L, Bootsma RJ (2009) Linear and logarithmic speed-accuracy trade-offs in reciprocal aiming result from task-specific parameterization of an invariant underlying dynamics. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 35(5):1443–1457. doi:10.1037/a0015783

Bootsma RJ, Fernandez L, Mottet D (2004) Behind Fitts' law: kinematic patterns in goal-directed movements. *Int J Hum Comput Stud* 61(6):811–821. doi:10.1016/j.ijhcs.2004.09.004

Brasil, H. H., & Bordin, I. A. (2010). Convergent validity of K-SADS-PL by comparison with CBCL in a Portuguese speaking outpatient population. *BMC psychiatry*, 10(1), 83.

Brossard-Racine, M., Majnemer, A., Shevell, M., Snider, L., & Bélanger, S. A. (2011). Handwriting capacity in children newly diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder. *Research in developmental disabilities*, 32(6), 2927-2934.

Buderath, P., Gärtner, K., Frings, M., Christiansen, H., Schoch, B., Konczak, J., ... & Timmann, D. (2009). Postural and gait performance in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *Gait & posture*, 29(2), 249-254.

Busquets, A., Marina, M., Davids, K., & Angulo-Barroso, R. (2016). Differing roles of functional movement variability as experience increases in gymnastics. *Journal of sports science & medicine*, 15(2), 268.

Cavanaugh, J. T., Guskiewicz, K. M., Giuliani, C., Marshall, S., Mercer, V. S., & Stergiou, N. (2006). Recovery of postural control after cerebral concussion: new insights using approximate entropy. *Journal of athletic training*, 41(3), 305.

Clark, S., & Riley, M. A. (2007). Multisensory information for postural control: sway-referencing gain shapes center of pressure variability and temporal dynamics. *Experimental brain research*, 176(2), 299-310.

Cole, J., & Paillard, J. (1995). Living without touch and peripheral information about body position and movement: Studies with deafferented subjects. *The body and the self*, 245-266.

Cortese, S., & Coghill, D. (2018). Twenty years of research on attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD): looking back, looking forward. *Evidence-based mental health*, 21(4), 173-176.

Davids, K., Glazier, P., Araujo, D. and Bartlett, R. (2003) Movement systems as dynamical systems: the functional role of variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine* 33, 245-260.

Donker, S. F., Ledebt, A., Roerdink, M., Savelsbergh, G. J., & Beek, P. J. (2008). Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Experimental brain research*, 184(3), 363-370.

Donker, S. F., Roerdink, M., Greven, A. J., & Beek, P. J. (2007). Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. *Experimental Brain Research*, 181(1), 1-11.

Dunn L, Coster WJ, Orsmond GI, Cohn ES. Household task participation of children with and without attentional problems. *Phys Occupat Ther Pediatrics* 2009; 29: 258-273.

Epstein, J. N., Langberg, J. M., Rosen, P. J., Graham, A., Narad, M. E., Antonini, T. N., ... & Altaye, M. (2011). Evidence for higher reaction time variability for children with ADHD on a range of cognitive tasks including reward and event rate manipulations. *Neuropsychology*, 25(4), 427.

Fernandez L, Bootsma RJ (2004) Effects of biomechanical and task constraints on the organization of movement in precision aiming. *Exp Brain Res* 159(4):458–466. doi:10.1007/s00221-004-1964-4

Ferrufino, L., Bril, B., Dietrich, G., Nonaka, T., & Coubard, O. A. (2011). Practice of contemporary dance promotes stochastic postural control in aging. *Frontiers in human neuroscience*, 5, 169.

Fitts PM (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *J Exp Psychol* 47(6):381–391. doi:10.1037/h0055392

Frank, J. S., & Earl, M. (1990). Coordination of posture and movement. *Physical therapy*, 70(12), 855-863.

Fuermaier, A., Tucha, L., Koerts, J., Aschenbrenner, S., Kaunzinger, I., Hauser, J., ... & Tucha, O. (2015). Cognitive impairment in adult ADHD—perspective matters!. *Neuropsychology*, 29(1), 45.

Garner, A. A., O'Connor, B. C., Narad, M. E., Tamm, L., Simon, J., & Epstein, J. N. (2013). The relationship between ADHD symptom dimensions, clinical correlates and functional impairments. *Journal of developmental and behavioral pediatrics: JDBP*, 34(7), 469.

Ghanizadeh, A. (2011). Sensory processing problems in children with ADHD, a systematic review. *Psychiatry Investigation*, 8(2), 89-94.

Guiard Y (1993) On Fitts's and Hooke's laws: simple harmonic movement in upper-limb cyclical aiming. *Acta Psychol* 82(1–3):139–159. doi:10.1016/0001-6918(93)90009-G

Harvey, W. J., Reid, G., Bloom, G. A., Staples, K., Grizenko, N., Mbekou, V., ... & Joober, R. (2009). Physical activity experiences of boys with and without ADHD. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 26(2), 131-150.

Hassan, D. M., & Azzam, H. (2012). Sensory integration in attention deficit hyperactivity disorder: Implications to postural control. In *Contemporary trends in ADHD research*. InTech.

Henderson, S. E., Sugden, D. A., & Barnett, A. L. (2007). *Movement assessment battery for children-2*. Harcourt Assessment.

Horak, F. B., Nashner, L. M., & Diener, H. C. (1990). Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental brain research*, 82(1), 167-177.

Huys R, Fernandez L, Bootsma RJ, Jirsa VK (2010) Fitts' law is not continuous in reciprocal aiming. *Proc R Soc B Biol Sci* 277(1685):1179–1184. doi:10.1098/rspb.2009.1954

Jones, M. R., Katz, B., Buschkuehl, M., Jaeggi, S. M., & Shah, P. (2018). Exploring N-Back Cognitive Training for Children With ADHD. *Journal of attention disorders*, 1087054718779230.

Jucaite, A., Fernell, E., Forsberg, H., & Hadders-Algra, M. (2003). Deficient coordination of associated postural adjustments during a lifting task in children with neurodevelopmental disorders. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 45(11), 731-742.

Junod, R. E. V., DuPaul, G. J., Jitendra, A. K., Volpe, R. J., & Cleary, K. S. (2006). Classroom observations of students with and without ADHD: Differences across types of engagement. *Journal of School Psychology*, 44(2), 87-104.

Kadesjö, B., & Gillberg, C. (1998). Attention deficits and clumsiness in Swedish 7 year old children. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 40(12), 796-804.

Kaiser, M. L., Schoemaker, M. M., Albaret, J. M., & Geuze, R. H. (2015). What is the evidence of impaired motor skills and motor control among children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)? Systematic review of the literature. *Research in developmental disabilities*, 36, 338-357.

Karatekin, C., Bingham, C., & White, T. (2009). Regulation of cognitive resources during an n-back task in youth-onset psychosis and attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). *International Journal of Psychophysiology*, 73(3), 294-307.

Kawabata Y, Tseng WL, Gau SSF. Symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder and social and school adjustment: the moderating roles of age and parenting. *J Abnormal Child Psychol* 2012;40: 177-188.

Kobel, M., Bechtel, N., Weber, P., Specht, K., Klarhöfer, M., Scheffler, K., ... & Penner, I. K. (2009). Effects of methylphenidate on working memory functioning in children with attention deficit/hyperactivity disorder. *European Journal of Paediatric Neurology*, 13(6), 516-523.

Kroes, M., Kessels, A. G., Kalff, A. C., Feron, F. J., Vissers, Y. L., Jolles, J., & Vles,

J. S. (2002). Quality of movement as predictor of ADHD: results from a prospective population study in 5-and 6-year-old children. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 44(11), 753-760.

Lake, D. E., Richman, J. S., Griffin, M. P., & Moorman, J. R. (2002). Sample entropy analysis of neonatal heart rate variability. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283(3), R789-R797.

Lange, K. W., Hauser, J., Lange, K. M., Makulska-Gertruda, E., Takano, T., Takeuchi, Y., ... & Tucha, O. (2014). Utility of cognitive neuropsychological assessment in attention-deficit/hyperactivity disorder. *ADHD Attention deficit and hyperactivity disorders*, 6(4), 241-248.

Lawrence, V., Houghton, S., Tannock, R., Douglas, G., Durkin, K., & Whiting, K. (2002). ADHD outside the laboratory: Boys' executive function performance on tasks in videogame play and on a visit to the zoo. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30(5), 447-462.

Leitner, Y., Barak, R., Giladi, N., Peretz, C., Eshel, R., Gruendlinger, L., & Hausdorff, J. M. (2007). Gait in attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of neurology*, 254(10), 1330-1338.

Manicolo, O., Grob, A., & Hagmann-von Arx, P. (2017). Gait in children with attention-deficit hyperactivity disorder in a dual-task paradigm. *Frontiers in psychology*, 8, 34.

Mao, H. Y., Kuo, L. C., Yang, A. L., & Su, C. T. (2014). Balance in children with attention deficit hyperactivity disorder-combined type. *Research in developmental disabilities*, 35(6), 1252-1258.

Mattos, P., Serra-Pinheiro, M. A., Rohde, L. A., & Pinto, D. (2006). A Brazilian version of the MTA-SNAP-IV for evaluation of symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder and oppositional-defiant disorder. *Revista de Psiquiatria do Rio Grande do Sul*, 28(3), 290-297.

Monk, A. F., Jackson, D., Nielsen, D., Jefferies, E., & Olivier, P. (2011). N-backer: an auditory n-back task with automatic scoring of spoken responses. *Behavior research methods*, 43(3), 888.

Moruzzi, S., Pesenti-Gritti, P., Brescianini, S., Salemi, M., Battaglia, M., & Ogliari, A. (2010). Clumsiness and psychopathology: Causation or shared etiology? A twin study with the CBCL 6–18 questionnaire in a general school-age population sample. *Human movement science*, 29(2), 326-338.

Ozonoff, S., Young, G. S., Goldring, S., Greiss-Hess, L., Herrera, A. M., Steele, J., ... & Rogers, S. J. (2008). Gross motor development, movement abnormalities, and early identification of autism. *Journal of autism and developmental disorders*, 38(4), 644-656.

Pan, C. Y., Tsai, C. L., & Chu, C. H. (2009). Fundamental movement skills in children

diagnosed with autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of autism and developmental disorders*, 39(12), 1694.

Pan, C. Y., Tsai, C. L., Chu, C. H., Sung, M. C., Huang, C. Y., & Ma, W. Y. (2015). Effects of physical exercise intervention on motor skills and executive functions in children with ADHD: A pilot study. *Journal of attention disorders*, 1087054715569282.

Papadopoulos, N., Rinehart, N. J., Bradshaw, J. L., Taffe, J., & McGinley, J. (2015). Is there a link between motor performance variability and social-communicative impairment in children with ADHD-CT: A kinematic study using an upper limb Fitts' aiming task. *Journal of attention disorders*, 19(1), 72-77.

Pasquali, L., Wechsler, S., & Bensusan, E. (2002). Raven's colored progressive matrices for children: a validation study for Brazil. *Aval Psicol*, 1(2), 95-110

Ramdani, S., Seigle, B., Lagarde, J., Bouchara, F., & Bernard, P. L. (2009). On the use of sample entropy to analyze human postural sway data. *Medical engineering & physics*, 31(8), 1023-1031.

Richman, J. S., & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039-H2049.

Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. *Journal of motor behavior*, 34(2), 99-125.

Roerdink, M., De Haart, M., Daffertshofer, A., Donker, S. F., Geurts, A. C. H., & Beek, P. J. (2006). Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Experimental brain research*, 174(2), 256.

Roerdink, M., Hlavackova, P., & Vuillerme, N. (2011). Center-of-pressure regularity as a marker for attentional investment in postural control: a comparison between sitting and standing postures. *Human movement science*, 30(2), 203-212.

Scharoun, S. M., Bryden, P. J., Otipkova, Z., Musalek, M., & Lejcarova, A. (2013). Motor skills in Czech children with attention-deficit/hyperactivity disorder and their neurotypical counterparts. *Research in developmental disabilities*, 34(11), 4142-4153.

Schmit, J. M., Riley, M. A., Dalvi, A., Sahay, A., Shear, P. K., Shockley, K. D., & Pun, R. Y. (2006). Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. *Experimental brain research*, 168(3), 357-367.

Shorer, Z., Becker, B., Jacobi-Polishook, T., Oddsson, L., & Melzer, I. (2012). Postural control among children with and without attention deficit hyperactivity disorder in single and dual conditions. *European journal of pediatrics*, 171(7), 1087-1094.

Shum SB, Pang MY. Children with attention deficit hyperactivity disorder have

impaired balance function: involvement of somatosensory, visual, and vestibular systems. *J Pediatr* 2009;155:245-249.

Thome, J., Ehlis, A. C., Fallgatter, A. J., Krauel, K., Lange, K. W., Riederer, P., ... & Gerlach, M. (2012). Biomarkers for attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). A consensus report of the WFSBP task force on biological markers and the World Federation of ADHD. *The World Journal of Biological Psychiatry*, 13(5), 379-400.

Tseng, M. H., Henderson, A., Chow, S. M., & Yao, G. (2004). Relationship between motor proficiency, attention, impulse, and activity in children with ADHD. *Developmental medicine and child neurology*, 46(6), 381-388.

Tucha, L. *et al.* Neuropsychological assessment of attention in adults with different subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of neural transmission*, v. 115, n. 2, p. 269-278, 2008.

Ward, J. H. (1963) Hierarchical groupings to optimize an objective function. *J. Amer. Stat. Assoc.*, 58, 234–244.

Willcutt, E. G. (2012). The prevalence of DSM-IV attention-deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Neurotherapeutics*, 9(3), 490-499.

Wilson, C., Simpson, S. E., van Emmerik., R. E. and Hamill, J. (2008) Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. *Sports Biomechanics* 7, 2-9.

Acknowledgments:

The authors are gratefully to all participants and families for agreeing to volunteer participation. We also thank the members of the Núcleo de Investigações sobre a Impulsividade e Atenção (NITIDA) for facilitating access to families and children, as well as for sharing their professional expertise in the clinical assessment of the participants. Further acknowledgement is given to Gabriela Silvestrini, Natália Rodrigues, and Bruna Reis for help in data collection, and Priscilla Araújo for support in data processing. Financial support for this study was granted by the Brazilian government agencies National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES, Finance Code 001) and by the Research Support Foundation from the State of Minas Gerais (FAPEMIG).

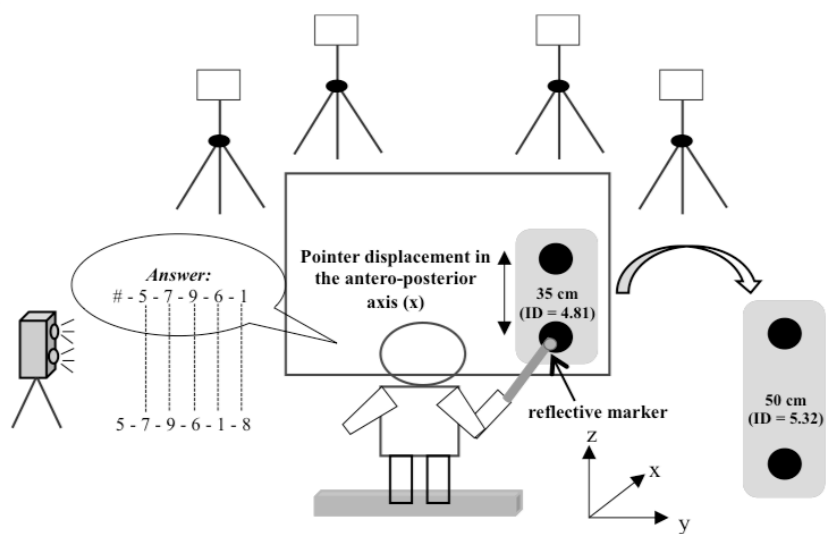


Figure 1: Dual-task experimental setup: motor task (Fitts' task) + cognitive task (1-back)

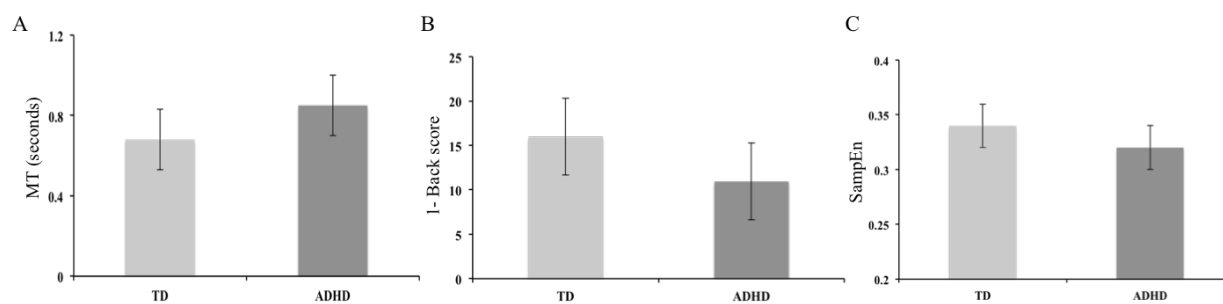


Figure 2: Significant ($p < 0.05$) group differences: (A) Motor performance - Movement Time (MT); (B) Cognitive performance - score 1-back and (C) Postural flexibility - Sample Entropy (SampEn). Vertical lines indicate standard deviations.

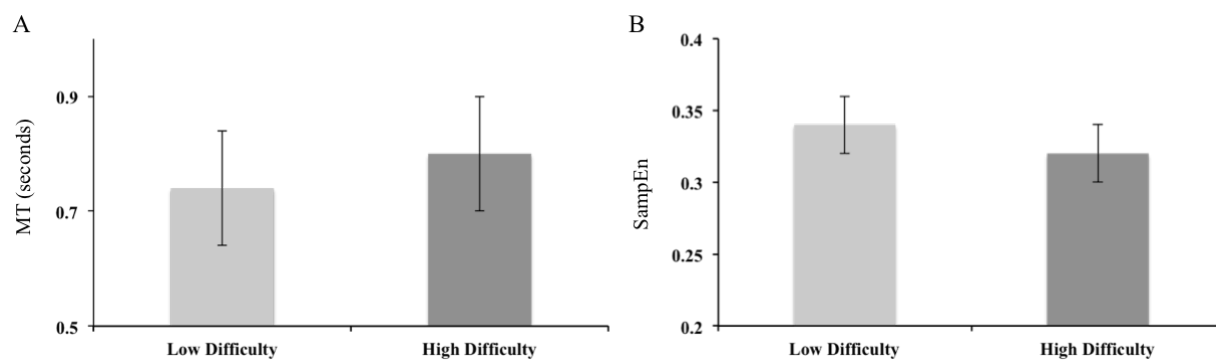


Figure 3: Significant ($p < 0.05$) task difficulty effect: (A) Motor performance - Movement Time (MT) and (B) Postural flexibility - Sample Entropy (SampEn). Vertical lines indicate standard deviations.

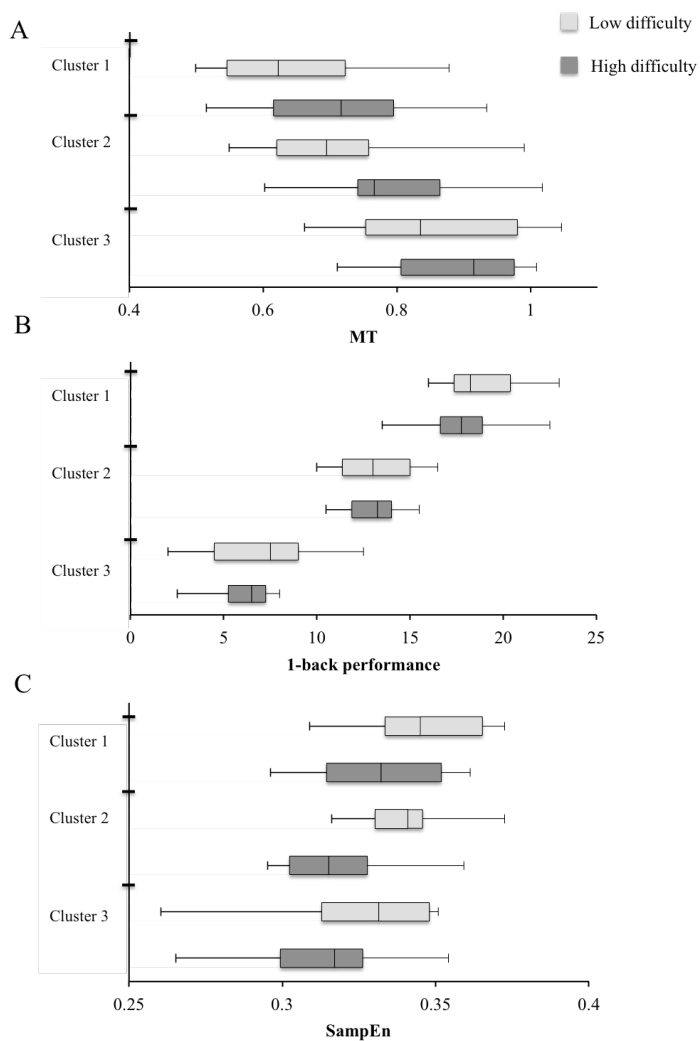


Figure 4: Descriptive of clusters in (A) Motor performance, (B) Cognitive performance and (C) Regularity of COP trajectory in two conditions of the task. MT = Movement Time; SampEn = Sample Entropy.

Table 1: Descriptive characteristics of participants.

Characteristics		Group		p value ^g
		ADHD (n = 17)	TD (n = 17)	
Sex ^a	Male	16 (94%)	16 (94%)	1.000
	Female	1 (6%)	1 (6%)	
Age ^b	Years	10.1 (1.5)	10.1 (1.2)	0.900
Body Weight ^b	Kilograms	40.0 (10.8)	38.5 (8.9)	0.665
Height ^b	Centimeters	144.8 (9.5)	144.2 (10.3)	0.864
Cognitive Function ^b	Raven's Progressive Matrices	70.1 (24.9) ^c	85.2 (20.1) ^c	0.061
Socioeconomic status ^a	CCEB categories ^d	A = 4 (23.5%) B1/B2 = 9 (53%) C1/C2 = 4 (23.5%) D/E = 0	A = 5 (29%) B1/B2 = 8 (47%) C1/C2 = 4 (24%) D/E = 0	0.918
ADHD behaviors ^b	SNAP - IV ^e			<0.0001
	Inattentive	19.41 (4.19)	6.88 (3.78)	
	Hyperactive-impulsive	16.88 (7.43)	6.35 (3.93)	
Motor Competence ^f	MABC-2	9 ≤ per ≤ 63	16 ≤ per ≤ 75	
Preferred limb ^a	Right	17 (100%)	17 (100%)	

ADHD Attention-deficit/hyperactivity disorder, TD typically developing, SNAP - IV Brazilian version of the Swanson, Nolan, and Pelham- version IV, MABC - 2 Movement Assessment Battery for Children - Second edition, per- percentile.

^a Numbers indicate frequency and (%).

^b Numbers indicate mean and (standard deviation).

^c Percentile within or above the "average" descriptive category, which range from 26 to 99 (R.C. Raven 1999).

^d CCEB Brazil's socioeconomic classification criteria. The categories represent socioeconomic levels. They are defined from a standardized questionnaire that assigns points to items related to the presence and amount of certain home appliances, number of cars owned, and the level of formal education of the main family member (provider). The points are summed, and specific ranges are translated into categories, in which higher total scores refer to higher socioeconomic levels. Level A= 45 to 100 points; B1/B2= 29 to 44 points; C1/C2= 17 to 28 points; and D/E= 0 to 16 points.

^e SNAP-IV: Inattentive = sum of the nine items that describes the total level of inattentive behaviors; Hyperactive-impulsive = sum of the nine items that describes the total level of hyperactivity/impulsivity behaviors.

^f Percentile above 5 in MABC-2, not indicative of Developmental Coordination Disorder.

^g Equivalence between groups was verified by independent-sample T test.

Table 2: Generalized Linear Models for motor and cognitive performance.

Predictor	Wald Chi-Square	Df	p value	B	SE	p value
Model: MT - Motor performance						
Intercept	-	-	-	1.726	0.2718	< .0001
Group	.887	1	.346	.021	.3914	.958
TD	0.10	1	.921	-.304	.404	.452
SampEn	48.173	1	< .0001	-3.043	.817	< .0001
Group x TD	1.037	1	.309	.554	.5441	.309
Group x SampEn	290	1	.590	.359	1.2153	.768
TD x SampEn	.0001	1	.996	.807	1.1903	.498
Group x TD x SampEn	.947	1	.330	-1.605	1.6490	.330
Model: 1-back - Cognitive performance						
Intercept	.150	1	.699	-2.057	8.4525	.808
Group	.574	1	.449	8.414	11.1049	.449
SampEn	4.038	1	0.044	53.303	24.9378	.033
Group x SampEn	1.362	1	.243	-39.163	33.5609	.243

MT = movement time; TD = task difficulty; df = degree freedom; B = coefficient; SE = standard error of coefficient estimation.

Table 3: Descriptive analysis of clusters

Characteristics	Cluster 1 (n=12)		Cluster 2 (n=12)		Cluster 3 (n=7)	
	ADHD (n=1)	TD (n=11)	ADHD (n=7)	TD (n=5)	ADHD (n=6)	TD (n=1)
Variables						
MT ^a	0.715 (0.12)	0.649 (0.12)	0.806 (0.13)	0.722 (0.14)	0.886 (0.12)	0.859 (0.15)
1-back performance ^a	17.92 (2.66)	18.96 (2.32)	12.96 (1.46)	13.21 (2.16)	6.00 (1.87)	7.00 (3.67)
SampEn ^a	0.332 (0.02)	0.345 (0.02)	0.318 (0.02)	0.337 (0.19)	0.313 (0.03)	0.323 (0.03)
Descriptive						
Sex	1 Female	1 Female 10 Male	7 Male	5 Male	6 Male	1 Male
Inattentive ^b	-	-	1 (14%)	-	1 (17%)	-
Hyperactive-impulsive ^b	-	-	-	-	2 (33%)	-
Combined ^b	1 (100%)	-	6 (86%)	-	3 (50%)	-
MABC-2	9	16 ≤ per ≤ 63	9 ≤ per ≤ 63	16 ≤ per ≤ 75	9 ≤ per ≤ 25	16

ADHD: Attention-deficit/hyperactivity disorder, TD: typically developing; MT = Movement Time; SampEn = Sample Entropy; F = female; M = male; Combined = Inattentive + Hyperactive-impulsive; MABC - 2 Movement Assessment Battery for Children - Second edition; per = percentile.

^a Numbers indicate mean and (standard deviation).

^b Numbers indicate frequency and (%).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese objetivou investigar os processos perceptuais e motores que suportam a organização da ação na realização de tarefas funcionais em crianças com TDAH. Ambos os estudos envolveram a utilização de técnicas analíticas avançadas para avaliar o efeito de manipulações experimentais específicas na organização da ação. Esta classe de análises permitiu, assim, revelar padrões atípicos de organização motora nas crianças com TDAH quando comparada às crianças com DN, que impactaram não só a performance motora como também a performance cognitiva. Portanto, a presente tese adiciona contribuições científicas sobre o entendimento da condição de saúde do TDAH para além da caracterização neuropsicológica clássica de hiperatividade-impulsividade e/ou desatenção.

O primeiro estudo avaliou as alterações na habilidade perceptual háptica do TDAH e nos mecanismos subjacentes a esta habilidade e o segundo estudo examinou o papel da flexibilidade postural na performance motora e cognitiva realizadas concomitantemente em crianças com TDAH. Enquanto o Estudo 1 utilizou o paradigma clássico de avaliação da percepção háptica para evidenciar déficits nessa habilidade, o Estudo 2 exemplificou, por meio da tarefa dupla, como mecanismos percepto-motores alterados, acessados via flexibilidade postural, impactam não só a tarefa motora, como também o desempenho da tarefa cognitiva. Portanto, diante da confirmação das nossas hipóteses, os resultados dos dois estudos reforçaram a proposição inicial da nossa tese de que deficiências percepto-motores permeiam as dificuldades funcionais de crianças com TDAH e que intervenções nesses mecanismos, como o sistema perceptual háptico, devem ser considerados para essa população.

Destaca-se que os resultados do Estudo 1 também proporcionam uma reflexão sobre o papel da hiperatividade no TDAH. A análise do padrão exploratório na tarefa de percepção do comprimento revelou que, nas condições em que as crianças com TDAH demonstraram uma maior fractalidade do movimento das mãos, a movimentação explícita e “mais desordenada” desse segmento corporal resultou em um aumento geral na sensibilidade perceptual. Esse comportamento é sugestivo de que a hiperatividade parece desempenhar um papel adaptativo e, portanto, não prejudicial para a organização das atividades motoras e cognitivas relevantes para a

tarefa, como normalmente argumentado. A atividade motora excessiva, explícita e/ou irrelevante dessas crianças, parece ser uma estratégia para aumentar os padrões sutis de flutuações da movimentação em múltiplas escalas que sustentam a base perceptual para a realização de atividades funcionais. Sendo assim, caso esta estratégia seja confirmada em futuros estudos, torna-se questionável a adequação de intervenções cognitivo-comportamentais projetadas para direcionar e reduzir a atividade irrelevante da tarefa e sugerimos a necessidade de novas intervenções para melhorar a capacidade perceptual háptica de crianças com TDAH.

Ressalta-se também que, de acordo com as evidências e buscas realizadas nas bases científicas, o Estudo 1 da presente tese é o primeiro estudo que compõe a linha de investigação sobre alterações perceptuais hápticas nas crianças com TDAH. De forma similar, nunca havia sido investigado a flexibilidade postural dessas crianças por meio de análises da estrutura de variação temporal dos deslocamentos do COP, como a entropia da amostra, e nem explorado a relação desta flexibilidade com a performance motora e cognitiva. Finalmente, destaca-se que, em ambos os estudos, as crianças realizaram as tarefas sem o efeito da medicação que foi suspensa por 24 horas antes da avaliação. Futuros estudos podem ser realizados para entender se a medicação têm algum efeito sobre o sistema perceptual háptico, como também sobre a flexibilidade postural.

Diante das considerações apresentadas, acredita-se que a presente tese traz inovações e contribuições importantes para a linha de pesquisa de Avaliação do Desenvolvimento e Desempenho Infantil do Programa de Pós-graduação em Ciências da Reabilitação. A investigação dos mecanismos percepto-motores nas crianças com TDAH possibilita, inclusive, novos caminhos para profissionais da reabilitação motora atuarem com esse público em específico. Portanto, conclui-se que a linha de investigação proposta nesta tese é promissora para o entendimento da condição de saúde do TDAH, apresentando potenciais novos conteúdos para os processos de avaliação e de intervenção que sejam efetivas para a funcionalidade dessas crianças.

REFERÊNCIAS

- ARZAMARSKI, R. *et al.* Effects of intention and learning on attention to information in dynamic touch. **Attention, Perception & Psychophysics**, v.72, n.3, p.721-735, 2010.
- ASSOCIAÇÃO DE PSIQUIATRIA AMÉRICA (APA). **Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais** - DSM-5. Tradução Maria Inês Corrêa Nascimento. 5 ed. Porto Alegre: American Psychiatric Association, 2014.
- BALASUBRAMANIAM, Ramesh; RILEY, Michael A.; TURVEY, M. T. Specificity of postural sway to the demands of a precision task. **Gait & posture**, v. 11, n. 1, p. 12-24, 2000.
- BROSSARD-RACINE, M. *et al.* Handwriting capacity in children newly diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder. **Research in developmental disabilities**, v.32, n.6, p.2927-2934, 2011.
- BROSSARD-RACINE, Marie *et al.* Handwriting capacity in children newly diagnosed with attention deficit hyperactivity disorder. **Research in developmental disabilities**, v. 32, n. 6, p. 2927-2934, 2011.
- BUDERATH, Paul *et al.* Postural and gait performance in children with attention deficit/hyperactivity disorder. **Gait & posture**, v. 29, n. 2, p. 249-254, 2009.
- BUSQUETS, Albert *et al.* Differing roles of functional movement variability as experience increases in gymnastics. **Journal of sports science & medicine**, v. 15, n. 2, p. 268, 2016.
- CARELLO, C., *et al.* Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v.12, n.5, p.339-350, 2008.
- CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Rotational invariants and dynamic touch. In: HELLER, M. A. (Ed.). **Touch, representation and blindness**. New York Oxford University Press, p.27-66, 2000.
- COEY, Charles A. *et al.* Complexity matching effects in bimanual and interpersonal syncopated finger tapping. **Neuroscience letters**, v. 616, p. 204-210, 2016.
- DAVIDS, Keith *et al.* Movement systems as dynamical systems. **Sports medicine**, v. 33, n. 4, p. 245-260, 2003.
- DONKER, S.F. *et al.* Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. **Experimental brain research**, v.184, n.3, p.363-370, 2008.
- DONKER, S.F. *et al.* Regularity of center-of-pressure trajectories depends on the amount of attention invested in postural control. **Experimental Brain Research**, v.181, n.1, p.1-11, 2007.

EKE, A. *et al.* Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals. **Physiological measurement**, v. 23, n. 1, p. R1, 2002.

FITZPATRICK, P.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the "muscular sense". **Neuroscience**, v.60, n.2, p.551-68, 1994.

FRANK, James S.; EARL, Marie. Coordination of posture and movement. **Physical therapy**, v. 70, n. 12, p. 855-863, 1990.

FUERMAIER, Anselm *et al.* Cognitive impairment in adult ADHD—perspective matters!. **Neuropsychology**, v. 29, n. 1, p. 45, 2015.

GARNER, A. A.; *et al.* The relationship between ADHD symptom dimensions, clinical correlates, and functional impairments. **Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics**, v.34, p.469-477, 2013.

GIBSON, J.J. **The senses considered as perceptual systems**. Boston: Houghton Mifflin, 1966.

HARPIN, V.A. The effect of ADHD on the life of an individual, their family, and community from preschool to adult life. **Archives of Disease in Childhood**, v.90, p.2-7, 2005.

HARVEY, William J. *et al.* Physical activity experiences of boys with and without ADHD. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 26, n. 2, p. 131-150, 2009.

HASSAN, Dalia Mohamed; AZZAM, Hanan. Sensory integration in attention deficit hyperactivity disorder: Implications to postural control. In: **Contemporary trends in ADHD research**. InTech, 2012.

JUCAITE, Aurelija *et al.* Deficient coordination of associated postural adjustments during a lifting task in children with neurodevelopmental disorders. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 45, n. 11, p. 731-742, 2003.

JUNOD, Rosemary E. Vile *et al.* Classroom observations of students with and without ADHD: Differences across types of engagement. **Journal of School Psychology**, v. 44, n. 2, p. 87-104, 2006.

KAISER, M.L. *et al.* What is the evidence of impaired motor skills and motor control among children with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD)? Systematic review of the literature. **Research in developmental disabilities**, v. 36, p. 338-357, 2015.

KAWABATA, Y.; TSENG, W. L.; GAU, S. S. Symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder and social and school adjustment: the moderating roles of age and parenting. **Journal of Abnormal Child Psychology**, v.40, n.2, p.177-188, 2012.

KELTY-STEPHEN, D. G.; DIXON, J. A. Interwoven fluctuations during intermodal

perception: Fractality in head sway supports the use of visual feedback in haptic perceptual judgments by manual wielding. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v.40, n.6, p.2289-2309, 2014.

KLOTZ, J. M. *et al.* Relationship between reaction time variability and motor skill development in ADHD. **Child Neuropsychology**, v.18, n.6, p.576-585, 2012.

KROES, Mariëlle *et al.* Quality of movement as predictor of ADHD: results from a prospective population study in 5-and 6-year-old children. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 44, n. 11, p. 753-760, 2002.

LAKE, D. E.; *et al.* Sample entropy analysis of neonatal heart rate variability. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v.283, n 3, p.R789-R797, 2002.

LANGE, Klaus W. *et al.* Utility of cognitive neuropsychological assessment in attention-deficit/hyperactivity disorder. **ADHD Attention deficit and hyperactivity disorders**, v. 6, n. 4, p. 241-248, 2014.

LAWRENCE, Vivienne *et al.* ADHD outside the laboratory: Boys' executive function performance on tasks in videogame play and on a visit to the zoo. **Journal of Abnormal Child Psychology**, v. 30, n. 5, p. 447-462, 2002.

LEDERMAN, S. J.; KLATZKY, R. L. Hand movements: a window into haptic object recognition. **Cognitive Psychology**, v.19, n.3, p.342-368, 1987.

LEITNER, Yael *et al.* Gait in attention deficit hyperactivity disorder. **Journal of neurology**, v. 254, n. 10, p. 1330-1338, 2007.

MANICOLO, Olivia; GROB, Alexander; HAGMANN-VON ARX, Priska. Gait in children with attention-deficit hyperactivity disorder in a dual-task paradigm. **Frontiers in psychology**, v. 8, p. 34, 2017.

MAO, Hsun-Ying *et al.* Balance in children with attention deficit hyperactivity disorder-combined type. **Research in developmental disabilities**, v. 35, n. 6, p. 1252-1258, 2014.

MICHAELS, Claire F. *et al.* Direct learning in dynamic touch. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 34, n. 4, p. 944, 2008.

MORUZZI, Sara *et al.* Clumsiness and psychopathology: Causation or shared etiology? A twin study with the CBCL 6–18 questionnaire in a general school-age population sample. **Human movement science**, v. 29, n. 2, p. 326-338, 2010.

OCARINO, J. M.; *et al.* Dynamic touch is affected in children with cerebral palsy. **Human Movement Science**, v.33, p.85-96, 2013.

OZONOFF, Sally *et al.* Gross motor development, movement abnormalities, and early identification of autism. **Journal of autism and developmental disorders**, v.

38, n. 4, p. 644-656, 2008.

PAGANO, C. C.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Exteroception and exproprioception by dynamic touch are different functions of the inertia tensor. **Attention, Perception, & Psychophysics**, v.58, n.8, p.1191-1202, 1996.

PALATINUS, Zsolt *et al.* Haptic perceptual intent in quiet standing affects multifractal scaling of postural fluctuations. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 40, n. 5, p. 1808, 2014.

PALATINUS, Zsolt; DIXON, James A.; KELTY-STEPHEN, Damian G. Fractal fluctuations in quiet standing predict the use of mechanical information for haptic perception. **Annals of Biomedical Engineering**, v. 41, n. 8, p. 1625-1634, 2013.

PAN, Chien-Yu; TSAI, Chia-Liang; CHU, Chia-Hua. Fundamental movement skills in children diagnosed with autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder. **Journal of autism and developmental disorders**, v. 39, n. 12, p. 1694, 2009.

PAN, Chien-Yu; TSAI, Chia-Liang; CHU, Chia-Hua. Fundamental movement skills in children diagnosed with autism spectrum disorders and attention deficit hyperactivity disorder. **Journal of autism and developmental disorders**, v. 39, n. 12, p. 1694, 2009.

PASCOLO, Paolo B. *et al.* Posture as a chaotic system and an application to the Parkinson's disease. **Chaos, Solitons & Fractals**, v. 24, n. 5, p. 1343-1346, 2005.

POLANCZYK, Guilherme *et al.* The worldwide prevalence of ADHD: a systematic review and meta-regression analysis. **American journal of psychiatry**, v. 164, n. 6, p. 942-948, 2007.

QUATMAN-YATES, Catherine *et al.* Spatial and temporal analysis center of pressure displacement during adolescence: Clinical implications of developmental changes. **Human movement science**, v. 58, p. 148-154, 2018.

RAMDANI, Sofiane *et al.* On the use of sample entropy to analyze human postural sway data. **Medical engineering & physics**, v. 31, n. 8, p. 1023-1031, 2009.

RICHMAN, J. S.; MOORMAN, J. R. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v.278, n.6, p. H2039-H2049, 2000.

Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2002). Variability and determinism in motor behavior. **Journal of motor behavior**, 34(2), 99-125.

RILEY, M. A.; *et al.* Perceptual behavior: recurrence analysis of a haptic exploratory procedure. **Perception**, v.31, p.481-510, 2002.

RILEY, Michael A. *et al.* Postural stabilization for the control of touching. **Human Movement Science**, v. 18, n. 6, p. 795-817, 1999.

ROERDINK, M.; *et al.* Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. **Experimental brain research**, v.174, n.2, p. 256-269, 2006.

ROSCH, K. S.; DIRLIKOV, B.; MOSTOFSKY, S. H. Increased intrasubject variability in boys with ADHD across tests of motor and cognitive control. **Journal of abnormal child psychology**, v.41, n.3, p.485-495, 2013.

SCHAROUN, S. M.; *et al.* Motor skills in Czech children with attention-deficit/hyperactivity disorder and their neurotypical counterparts. **Research in developmental disabilities**, v.34, n.11, p.4142-4153, 2013.

Schmit, J. M., Riley, M. A., Dalvi, A., Sahay, A., Shear, P. K., Shockley, K. D., & Pun, R. Y. (2006). Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. **Experimental brain research**, v.168, n.3, p.357-367.

SHIMIZU, T.; NORIMATSU, H. Detection of invariants by haptic touch across age groups: rod length perception. **Perceptual and Motor Skills**, v.100, n.2, p.543-53, 2005.

SHORER, Z.; *et al.* Postural control among children with and without attention deficit hyperactivity disorder in single and dual conditions. **European journal of pediatrics**, v.171, n.7, p.1087-1094, 2012.

SOLOMON, H. Y.; TURVEY, M. T. Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects. **Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance**, v.14, n.3, p.404-427, 1988.

SOLOMON, H. Y.; TURVEY, M. T.; BURTON, G. Gravitational and muscular variables in perceiving rod extent by wielding. **Ecological Psychology**, v.1, n.3, p.265-300, 1989.

STEPHEN, D. G.; ARZAMARSKI, R.; MICHAELS, C. F. The role of fractality in perceptual learning: Exploration in dynamic touch. **Journal of experimental psychology. Human perception and performance**, v.36, n.5, p.1161, 2010.

STEPHEN, Damian G.; HAJNAL, Alen. Transfer of calibration between hand and foot: Functional equivalence and fractal fluctuations. **Attention, Perception, & Psychophysics**, v. 73, n. 5, p. 1302-1328, 2011.

STOFFREGEN, Thomas A. *et al.* Modulating postural control to facilitate visual performance. **Human Movement Science**, v. 19, n. 2, p. 203-220, 2000.

THOME, Johannes *et al.* Biomarkers for attention-deficit/hyperactivity disorder (ADHD). A consensus report of the WFSBP task force on biological markers and the World Federation of ADHD. **The World Journal of Biological Psychiatry**, v. 13, n. 5, p. 379-400, 2012.

TSENG, Mei Hui *et al.* Relationship between motor proficiency, attention, impulse,

and activity in children with ADHD. **Developmental medicine and child neurology**, v. 46, n. 6, p. 381-388, 2004.

TUCHA, L. *et al.* Neuropsychological assessment of attention in adults with different subtypes of attention-deficit/hyperactivity disorder. **Journal of neural transmission**, v. 115, n. 2, p. 269-278, 2008.

TURVEY, M. T. Dynamic touch. **American Psychology**, v.51, n.11, p.1134-52, Nov. 1996.

TURVEY, M. T.; CARELLO, C.; KIM, N. G. Links between active perception and the control of action. In: **Sinergetics of cognition**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, p. 269-295, 1990.

TURVEY, M.T. Dynamics of effortful touch and interlimb coordination. **Journal of biomechanics**, v.31, n.10, p.873-882, 1998.

VAILLANCOURT, David E.; NEWELL, Karl M. Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease. **Neurobiology of aging**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2002.

WADE, M. G.; *et al.* Perception of Object Length Via Manual Wielding in Children With and Without Developmental Coordination Disorder. **Journal of motor behavior**, p.1-7, 2015.

WILSON, Cassie *et al.* Coordination variability and skill development in expert triple jumpers. **Sports biomechanics**, v. 7, n. 1, p. 2-9, 2008.

WITHAGEN, Rob; MICHAELS, Claire F. The role of feedback information for calibration and attunement in perceiving length by dynamic touch. **Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance**, v. 31, n. 6, p. 1379, 2005.

APÊNDICE A

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (PAIS, MÃES OU RESPONSÁVEIS DE CRIANÇAS DE 8 a 12 ANOS)

Prezados pais, mães ou responsáveis, obrigado pelo interesse e disponibilidade em participar deste estudo. O nosso objetivo é analisar a capacidade da criança de perceber o comprimento de hastes (percepção háptica) sem a ajuda da visão. Este estudo será desenvolvido pela Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO-UFMG).

Para realizar essa pesquisa nós precisamos que você dê o seu consentimento, permitindo a participação voluntária de seu(ua) filho(a) no estudo. Após seu consentimento, inicialmente a criança será solicitada a realizar atividades com o uso das mãos (desenhar, arremessar uma bola no alvo) e atividades de equilíbrio (ficar de pé com uma perna só, andar com um pé na frente do outro). Em seguida, a criança será solicitada a ficar assentada em uma cadeira ao lado de um biombo com uma cortina preta para impedir de ver as hastes. Do outro lado da cortina, uma pessoa irá entregar diferentes hastes e a criança terá que balançar a haste e logo em seguida, avaliar a posição na qual acha que está a ponta final da haste, movendo um marcador que estará do outro lado. Serão dadas 18 hastes para avaliar o comprimento e, se necessário, haverá tempo de descanso. O tempo estimado da coleta é de aproximadamente 1 hora.

Os riscos e os desconfortos referentes à participação da criança no estudo são mínimos. Caso haja algum cansaço muscular devido aos movimentos do braço, haverá mais tempo de descanso, ou poderemos aplicar gelo para promover o relaxamento muscular. Para garantir o sigilo das medidas utilizaremos um número para fazer a identificação da criança, ao invés do nome. Ressaltamos que a participação nesta pesquisa é inteiramente voluntária, você não receberá nenhum pagamento ou compensação financeira para participar. Além disso, você não terá nenhum tipo de despesa com este estudo. A participação neste estudo nos ajudará a compreender melhor as possíveis diferenças na habilidade das crianças de perceber o comprimento de objetos. É importante ressaltar que você é livre para consentir na participação ou no abandono do seu filho(a) a qualquer momento. Você poderá obter qualquer informação deste estudo com os pesquisadores e com o Comitê de Ética em pesquisa da UFMG, caso se refira às questões éticas. Os telefones e e-mails estão listados abaixo.

Prof^a Marisa Cotta Mancini, ScD, Departamento de Terapia Ocupacional da UFMG

Consentimento

Eu, _____, responsável por _____ declaro que li e entendi todas as informações sobre o estudo, sendo os objetivos e procedimentos explicados claramente. Tive tempo suficiente para pensar e escolher participar do estudo e tive oportunidade de tirar todas as minhas dúvidas. Estou assinando este termo voluntariamente e tenho direito de, agora ou mais tarde, discutir qualquer dúvida em relação ao projeto.

Assinatura da mãe, pai ou responsável

Belo Horizonte, ____ de _____ de 20__.

Este termo encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma das vias ficará com o(a) senhor(a) e a outra será arquivada.

Pesquisadores Responsáveis: Profa. Dra. Marisa Cotta Mancini (marisacmancini@gmail.com) – Professora da EEFFTO-UFMG (3409-4790). Bruna Avelar (avelar.bruna@gmail.com) – Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência da Reabilitação (98897-5462). Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG: (31)3409-4592. Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos 6627, Unidade Administrativa II, 2º andar – sala 2005, CEP: 31270-901, BH–MG. e-mail:coep@prpq.ufmg.br

APÊNDICE B

Termo de Assentimento Livre do Menor

Prezado participante,

Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Avaliação da percepção háptica de crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH)”. Seus pais permitiram que você participe. Queremos saber a sua capacidade de perceber o comprimento de objetos sem o auxílio da visão.

A pesquisa será feita na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO-UFMG). Você será solicitado a realizar atividades com as mãos (desenhar, arremessar uma bola no alvo) e atividades de equilíbrio (ficar de pé com uma perna só, andar com um pé na frente do outro). Em seguida você ficará assentado em uma cadeira ao lado de um biombo com uma cortina para te impedir de ver as hastes. Do outro lado da cortina, uma pessoa irá te entregar diferentes hastes. Você terá que balançar a haste e logo em seguida, avaliar a posição na qual você acha que está a ponta final da haste, movendo um marcador que estará do seu outro lado. Serão dadas 18 hastes para você avaliar o comprimento. Se precisar, você poderá descansar durante a pesquisa. Os riscos e os desconfortos referentes à sua participação são mínimos. Caso haja algum cansaço muscular devido aos movimentos do braço, será dado a você mais tempo de descanso, ou poderemos aplicar gelo para promover alívio.

Você ou seus pais podem não querer participar do projeto. Não tem problema algum se você quiser desistir antes ou durante a pesquisa. Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelo telefone 3409-4783/4790, ou pelos e-mails das pesquisadoras: Marisa Cotta Mancini (marisacmancini@gmail.com) e Bruna Avelar (avelar.bruna@gmail.com).

Há coisas boas que podem acontecer depois desse estudo. A realização desse projeto nos ajudará a entender melhor se há diferenças na habilidade das crianças com TDAH e crianças com desenvolvimento normal em perceber o comprimento de objetos possibilitando melhorar futuramente os tratamentos nessa população. Ninguém saberá que você está participando da pesquisa, não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa deverão ser publicados, mas sem identificar quem participou da pesquisa.

Se você tiver alguma dúvida, você pode nos perguntar ou pode perguntar também para a pesquisadora Marisa Cotta Mancini. Eu escrevi os telefones e e-mails na parte de cima desse texto.

Eu, _____, aceito participar da pesquisa “Avaliação da percepção háptica de crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH)”, que tem o objetivo de analisar a minha capacidade de perceber o formato de objetos sem o auxílio da visão. Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir que ninguém vai ficar furioso. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo, li e concordo em participar.

Este termo encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma das vias ficará com você ou o(a) seu(a) responsável e a outra será arquivada. Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG: Telefax. (31) 3409-4592. Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos 6627, Unidade Administrativa II, 2o andar – sala 2005, CEP: 31270-901, BH – MG. e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Belo Horizonte, ____ de _____ de _____.

Assinatura do menor

Assinatura da pesquisadora

APÊNDICE C

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (PAIS, MÃES OU RESPONSÁVEIS DE CRIANÇAS DE 8 a 14 ANOS)

Prezados pais, mães ou responsáveis, obrigado pelo interesse e disponibilidade em participar deste estudo. O nosso objetivo é analisar o desempenho da criança na realização de uma tarefa motora e cognitiva realizadas ao mesmo tempo. O estudo será desenvolvido pela Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO/UFMG).

Para realizar essa pesquisa nós precisamos que você dê o seu consentimento, permitindo a participação voluntária de seu(ua) filho(a) no estudo. Após seu consentimento, a criança será solicitada a realizar atividades com as mãos (desenhar, arremessar uma bola no alvo) e atividades de equilíbrio (ficar de pé com uma perna só, andar com um pé na frente do outro). Em seguida, a criança será solicitada a ficar em pé em cima de um tablado fixo no chão (plataforma de força) ao lado de uma mesa com um par de alvos e irá tocá-los, alternadamente, com o menor intervalo de tempo possível e o máximo de precisão. Para tocar os alvos, será utilizada uma varinha. Serão utilizados dois pares de alvos com diferentes distância entre eles. Após, a criança será solicitada a realizar a tarefa cognitiva. Ela irá colocar um fone de ouvido onde deverá escutar uma sequência de números e, dizer em voz alta, o número anterior ao número que será escutado no momento. Em seguida, a criança realizará a tarefa motora junto a tarefa cognitiva. Serão realizadas 2 tentativas da tarefa. Se necessário, haverá tempo de descanso. O tempo estimado da coleta é de aproximadamente 2 horas e se sua criança tiver TDAH, ela irá realizar esta tarefa duas vezes, com e sem a presença de medicação.

Os riscos e os desconfortos referentes à participação da criança no estudo são mínimos. Caso haja algum cansaço muscular devido aos movimentos do braço, haverá mais tempo de descanso, ou poderemos aplicar gelo para promover o relaxamento muscular. Para garantir o sigilo das medidas utilizaremos um número para fazer a identificação da criança, ao invés do nome. Ressaltamos que a participação nesta pesquisa é inteiramente voluntária, você não receberá nenhum pagamento ou compensação financeira para participar. E você não terá nenhum tipo de despesa com este estudo. A participação neste estudo nos ajudará a compreender melhor as possíveis diferenças de desempenho motor e cognitivo de crianças/adolescentes com TDAH e crianças normais na realização de tarefa dupla. É importante ressaltar que você é livre para consentir na participação ou no abandono do seu filho(a) a qualquer momento. Você poderá obter qualquer informação deste estudo com os pesquisadores e com o Comitê de Ética em pesquisa da UFMG, caso se refira às questões éticas. Os telefones e e-mails estão listados abaixo.

Prof^a Marisa Cotta Mancini, ScD, Departamento de Terapia Ocupacional da UFMG

Consentimento

Eu, _____, responsável por _____ declaro que li e entendi todas as informações sobre o estudo, sendo os objetivos e procedimentos explicados claramente. Tive tempo suficiente para pensar e escolher participar do estudo e tive oportunidade de tirar todas as minhas dúvidas. Estou assinando este termo voluntariamente e tenho direito de, agora ou mais tarde, discutir qualquer dúvida em relação ao projeto.

Assinatura da mãe, pai ou responsável

Belo Horizonte, ____ de _____ de 20 ____.

Este termo encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma das vias ficará com o(a) senhor(a) e a outra será arquivada.

Pesquisadores Responsáveis: Prof^a. Dra. Marisa Cotta Mancini (marisacmancini@gmail.com) – Professora da EEFFTO-UFMG (3409-4790). Bruna Avelar (avelar.bruna@gmail.com) – Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência da Reabilitação (98897-5462). Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG: (31)3409-4592. Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos 6627, Unidade Administrativa II, 2º andar – sala 2005, CEP: 31270-901, BH–MG. e-mail:coop@prpq.ufmg.br

APÊNDICE D

Termo de Assentimento Livre do Menor

Prezado participante,

Você está sendo convidado para participar da pesquisa “Desempenho motor e cognitivo de crianças com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) na realização de tarefa dupla”. Seus pais permitiram que você participe. Queremos saber o seu desempenho na realização de duas tarefas juntas: tarefa motora + tarefa cognitiva. A pesquisa será feita na Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia Ocupacional da Universidade Federal de Minas Gerais (EEFFTO-UFMG).

Você será solicitado a realizar atividades com as mãos (desenhar, arremessar uma bola no alvo) e atividades de equilíbrio (ficar de pé com uma perna só, andar com um pé na frente do outro). Em seguida, você ficará em pé em cima de um tablado fixo no chão (plataforma de força) ao lado de uma mesa com um par de alvos e irá tocá-los, alternadamente, com o menor intervalo de tempo possível e o máximo de precisão. Para tocar os alvos, será utilizada uma varinha. Serão utilizados dois pares de alvos com diferentes distância entre eles. Após, você será solicitado a realizar a tarefa cognitiva. Você irá colocar um fone de ouvido onde deverá escutar uma sequência de números e, dizer em voz alta, o número anterior ao número que será escutado no momento. Em seguida, você realizará estas tarefas (motora + cognitiva) juntas. Serão realizadas 2 tentativas da tarefa. Se precisar, você poderá descansar durante a pesquisa. Os riscos e os desconfortos referentes à sua participação são mínimos. Caso haja algum cansaço muscular devido aos movimentos do braço, será dado a você mais tempo de descanso, ou poderemos aplicar gelo para promover alívio. O tempo estimado da coleta é de aproximadamente 2 horas. Lembrando que se você tem TDAH, você irá realizar a tarefa duas vezes, com e sem medicação. Você ou seus pais podem não querer participar do projeto. Não tem problema algum se você quiser desistir antes ou durante a pesquisa. Caso aconteça algo errado, você pode nos procurar pelo telefone 3409-4783/4790, ou pelos e-mails das pesquisadoras: Marisa Cotta Mancini (marisacmancini@gmail.com) e Bruna Avelar (avelar.bruna@gmail.com).

Há coisas boas que podem acontecer depois desse estudo. A realização desse projeto nos ajudará a entender melhor as diferenças no desempenho motor e cognitivo de crianças/adolescentes com TDAH e crianças normais na realização de tarefa dupla possibilitando melhorar futuramente os tratamentos nessa população. Ninguém saberá que você está participando da pesquisa, não falaremos a outras pessoas, nem daremos a estranhos as informações que você nos der. Os resultados da pesquisa deverão ser publicados, mas sem identificar quem participou da pesquisa. Se você tiver alguma dúvida, você pode nos perguntar ou pode perguntar também para a pesquisadora Marisa Cotta Mancini. Eu escrevi os telefones e e-mails na parte de cima desse texto.

Eu, _____, aceito participar da participar da pesquisa “Desempenho motor e cognitivo de crianças com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH) na realização de tarefa dupla”, que tem o objetivo de analisar a minha capacidade de realizar duas tarefas simultaneamente. Entendi as coisas ruins e as coisas boas que podem acontecer. Entendi que posso dizer “sim” e participar, mas que, a qualquer momento, posso dizer “não” e desistir que ninguém vai ficar furioso. Os pesquisadores tiraram minhas dúvidas e conversaram com os meus responsáveis. Recebi uma cópia deste termo, li e concordo em participar.

Este termo encontra-se impresso em duas vias, sendo que uma das vias ficará com você ou o(a) seu(a) responsável e a outra será arquivada. Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG: Telefax. (31) 3409-4592. Endereço: Av. Presidente Antônio Carlos 6627, Unidade Administrativa II, 2o andar – sala 2005, CEP: 31270-901, BH – MG. e-mail: coep@prpq.ufmg.br.

Belo Horizonte, ____ de _____ de _____.

Assinatura do menor

Assinatura da pesquisadora

APÊNDICE E

Cálculo do desempenho perceptual háptico (Estudo 1)

O desempenho perceptual háptico, no presente estudo, foi calculado por meio da acurácia e da confiabilidade. A acurácia é mensurada pelo *root mean square* (MRS%) que permite identificar o quão próximo do comprimento real da haste foram os comprimentos percebidos realizados pelas crianças (HANJAL *et al.*, 2007). A confiabilidade, mensurada pelo *average deviation* (AD%), revela se os indivíduos foram consistentes em suas avaliações do comprimento das hastes nas três repetições de cada condição experimental (HANJAL *et al.*, 2007). Menores valores de MRS% e AD% indicam maior acurácia e confiabilidade. As fórmulas para o cálculo do MRS% e AD% são mostradas abaixo:

$$\text{Acurácia} = \sum_{i=1}^{N_o} \sum_{j=1}^{N_{rep}} \frac{\sqrt{C_{pij} - C_{ri}}^2}{N_o \times N_{rep}} \times 100,$$

onde C_{pij} é o comprimento percebido da haste i na repetição j , C_{ri} é o comprimento físico real da haste considerando a haste i , N_o é o número de hastes e posicionamentos de massa utilizados no estudo e N_{rep} é o número de repetições.

$$\text{Confiabilidade} = \sum_{i=1}^{N_o} \sum_{j=1}^{N_{rep}} \frac{|C_{pij} - \bar{C}_{pi}|}{\bar{C}_{pi}} \times 100,$$

onde C_{pij} é o comprimento percebido da haste i na repetição j , C_{pi} é a média do comprimento percebido da haste i , N_o é o número de hastes e posicionamentos de massa utilizados no estudo e N_{rep} é o número de repetições.

Referências:

HAJNAL, Alen *et al.* Comparison of dynamic (effortful) touch by hand and foot. **Journal of motor behavior**, v. 39, n. 2, p. 82-88, 2007.

APÊNDICE F

Cálculo do momento de inércia das hastes (Estudo 1)

O momento de inércia é obtido ao multiplicar a massa do objeto pelo quadrado de sua distância ao eixo de rotação ($I = mL^2$) (WINTER, 1990). Esta variável depende não somente da quantidade de massa do objeto, como também da forma como a massa está distribuída em relação ao eixo de rotação. Como será manipulado a haste em vários eixos (ântero- posterior, látero-lateral, e em torno do eixo longitudinalmente), apenas um valor de I não pode capturar todas as resistências que o objeto oferece em todos os eixos, o que requer um tensor, comumente referido como tensor de inércia (CARELLO, TURVEY, 2004; CARELLO *et al.*, 2008). O tensor de inércia (I_{ij}) é uma matriz simétrica de nove números (3×3) que quantifica a resistência do objeto à rotação em diferentes direções. (CARELLO *et al.*, 2008; CARELLO, TURVEY, 2000).

$$\begin{pmatrix} I_{XX} & I_{XY} & I_{XZ} \\ I_{YX} & I_{YY} & I_{YZ} \\ I_{ZX} & I_{ZY} & I_{ZZ} \end{pmatrix}$$

Os termos na diagonal (momentos de inércia - I) capturam a inércia rotacional do objeto (resistência à aceleração rotacional) com respeito aos três eixos ortogonais (I_{xx} , I_{yy} , I_{zz}). Os termos fora da diagonal (produtos da inércia) capturam a inércia rotacional do objeto em direções perpendiculares aos eixos de rotação (I_{xy} , I_{xz} , I_{yz}), refletindo a assimetria da distribuição de massa do objeto sobre o eixo

definido (TURVEY, 1996; CARELLO *et al.*, 1998, PAGANO; CARELLO; TURVEY, 1996). O tensor de inércia sobre um ponto fixo de rotação pode ser diagonalizado para uma forma particular que independe do sistema de coordenadas arbitrariamente escolhido (TURVEY, 1996). Esse processo permite que as coordenadas definidas passem a coincidir com os eixos de simetria do objeto, tornando possível a obtenção dos momentos principais de inércia ou autovalores (I_1 , I_2 , I_3) e seus respectivos eixos principais ou autovetores (e_1 , e_2 , e_3) (TURVEY *et al.*, 1992; CARELLO *et al.*, 2008).

Diagonalização

$$\begin{pmatrix} I_{XX} & I_{XY} & I_{XZ} \\ I_{YX} & I_{YY} & I_{YZ} \\ I_{ZX} & I_{ZY} & I_{ZZ} \end{pmatrix} \longrightarrow \begin{pmatrix} I_1 & & \\ & I_2 & \\ & & I_3 \end{pmatrix}$$

Estudos prévios demonstraram que os autovalores relacionam-se com a percepção de comprimento, peso e forma dos objetos e segmentos corporais, enquanto os autovetores relacionam-se com a percepção de direção e orientação de membros e objetos (TURVEY, 1996). O maior autovalor (I_1) fornece a maior resistência à aceleração rotacional, o que parece suportar a percepção háptica do comprimento de hastes cilíndricas de pequeno raio e densidade uniforme (CARELLO *et al.*, 2008; TURVEY *et al.* 1992, CARELLO *et al.*, 1998).

Referências:

CARELLO, C., *et al.* Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, v.12, n.5, p.339-350, 2008.

CARELLO, C.; *et al.* Inertial eigenvalues, rod density and rod diameter in length perception by dynamics touch. *Perception & Psychophysics*, v. 60, n. 1, p. 89-100, 1998.

CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Physics and psychology of the muscle sense. *Current Directions in Psychological Science*, v.13, n.1, p.25-28, 2004.

CARELLO, C.; TURVEY, M. T. Rotational invariants and dynamic touch. In: HELLER, M. A. (Ed.). *Touch, representation and blindness*. New York Oxford University Press, p.27-66, 2000.

APÊNDICE G

Cálculo da *Detrended Fluctuation Analysis (DFA)* para caracterização do padrão exploratório (Estudo 1)

A caracterização do padrão exploratório foi realizada pelo cálculo da *Detrended Fluctuation Analysis (DFA)* que estima as correlações temporais (COEY *et al.*, 2016; EKE *et al.*, 2002). Para este cálculo, é necessário obter a série temporal do deslocamento do movimento no espaço tridimensional, que no presente estudo, foram os deslocamentos da haste e da mão. Esta série é computada a partir dos registros da posição desses segmentos em cada eixo isoladamente via cálculo da distância euclidiana entre pares de pontos consecutivos. O intuito é obter séries temporais que reflitam a mudança tridimensional da posição da haste e da mão em cada ponto do tempo, respectivamente.

Após a obtenção da série temporal, a DFA é realizada. Os procedimentos dessa análise consistem em: (1) divisão da série temporal em janelas de diferentes tamanhos; (2) regressão linear em cada janela para saber o quanto o padrão de deslocamento desvia da tendência média; (3) realização do *root mean square (RMS)* em cada janela para obtenção do desvio-médio dos pontos das retas de regressão – raiz quadrada da média dos desvios da reta elevado ao quadrado; (4) média dos desvios obtidos em cada janela e em cada escala temporal; e (5) regressão linear entre o logaritmo da média do RMS obtido em cada janela (variação das flutuações na exploração da haste) e o logaritmo do comprimento da janela (escala temporal). A inclinação dessa reta de regressão obtida é frequentemente chamada de expoente α . Para o presente estudo, o expoente α_{haste} e $\alpha_{\text{mão}}$ foram computados para cada criança avaliada em cada condição experimental.

A magnitude de α fornece uma estimativa das correlações temporais ou da estrutura de variabilidade nas séries temporais: $\alpha \approx 0,5$ indica ausência de correlações temporais ou padrão aleatório (ou seja, ruído branco); $\alpha \approx 1$ indica correlações de longo alcance ou estrutura persistente (ou seja, fractal, $1/f$ ou ruído rosa); e $\alpha \approx 1,5$ indica estrutura altamente persistente (isto é, movimento browniano) (COEY *et al.*, 2016; EKE *et al.*, 2002).

Referências:

COEY, Charles A. *et al.* Complexity matching effects in bimanual and interpersonal syncopated finger tapping. **Neuroscience letters**, v. 616, p. 204-210, 2016.

IHLEN, Espen Alexander Fürst EAFI. Introduction to multifractal detrended fluctuation analysis in Matlab. **Frontiers in physiology**, v. 3, p. 141, 2012.

EKE, A. *et al.* Fractal characterization of complexity in temporal physiological signals. **Physiological measurement**, v. 23, n. 1, p. R1, 2002.

APÊNDICE H

Cálculo da *Entropia da Amostra (EDA – Sample Entropy)* como operacionalização flexibilidade postural (Estudo 2)

Para avaliação da flexibilidade postural, os dados de posição do COP, cada um consistindo em 4000 pontos, foram quantificados usando a EDA (LAKE *et al.* 2002; RICHMAN & MOORMAN, 2000). A EDA indexa a regularidade de uma determinada série temporal em termos de previsibilidade ou grau de repetição no sinal. Esta variável é calculada como o logaritmo negativo da probabilidade condicional de que duas sequências similares para m pontos, permanecem similares no próximo ponto, dentro de uma tolerância r (RICHMAN & MOORMAN, 2000). Como a EDA é um medida de desordem, ou seja, de irregularidade da trajetória, menores valores de EDA estão associados com maior regularidade da série temporal (i.e., a estrutura de variabilidade do sinal é mais determinística e menos complexa) e maiores valores de EDA estão associados a menor regularidade da série temporal (i.e., a estrutura da variabilidade é menos determinística e, assim, mais complexa).

Para a realização do cálculo da EDA é necessário analisar a série do deslocamento do COP no espaço bidimensional e a definição dos parâmetros r e m . Sendo assim, as séries temporais x e y foram filtradas bidirecionalmente (filtro *Butterworth* passa baixa de segunda ordem, frequência de corte de 12,5 Hz). Posteriormente, x e y foram centrados na média e normalizados pela divisão das séries temporais pelos respectivos desvios padrão (σ_x e σ_y). Por fim, as séries de deslocamento de COP no espaço bidimensional (isto é, comprimento da trajetória de COP percorrida por segundo) foram obtidas pela distância euclidiana de cada ponto

em relação à origem do movimento (DONKER *et al.*, 2008).

Os parâmetro m e r foram escolhidos com base no método de Ramdani *et al.*, 2009. Este método consiste em selecionar aleatoriamente um conjunto de dados da sua amostra (em torno de 20% de cada grupo) e estimar os parâmetros plotando a curva de cada dado obtido em um gráfico de EDA como uma função de r para vários valores de m . É preconizado que para cada plotagem, o pesquisador escolha o valor de m onde as diferentes curvas primeiro convergem e um r para o qual o erro relativo da EDA é minimizado (idealmente abaixo de 0.05). De acordo com esse método, no presente estudo os valores de $r = 0,10$ e $m = 4$ foram escolhidos.

Referências:

LAKE, Douglas E. *et al.* Sample entropy analysis of neonatal heart rate variability. **American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology**, v. 283, n. 3, p. R789-R797, 2002.

RICHMAN, Joshua S.; MOORMAN, J. Randall. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology**, v. 278, n. 6, p. H2039-H2049, 2000.

DONKER, Stella F. *et al.* Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. **Experimental brain research**, v. 184, n. 3, p. 363-370, 2008.

RAMDANI, Sofiane *et al.* On the use of sample entropy to analyze human postural sway data. **Medical engineering & physics**, v. 31, n. 8, p. 1023-1031, 2009.

ANEXO A

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA - COEP

Projeto: CAAE – 56741116.9.0000.5149

Interessado(a): **Profa. Marisa Cotta Mancini**
Departamento de Terapia Ocupacional
EEFFTO- UFMG

DECISÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 15 de junho de 2016, o projeto de pesquisa intitulado "**Avaliação da percepção háptica de crianças com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade**" bem como:

- Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.
- Termo de Assentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.

Profa. Dra. Telma Campos Medeiros Lorentz
Coordenadora do COEP-UFMG


ANEXO B**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS
GERAIS COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA -
COEP****Projeto: CAAE – 70234617.8.0000.5149****Interessado(a): Profa. Marisa Cotta Mancini
Departamento de Terapia Ocupacional
Escola de Educação Física, Fisioterapia e Terapia
Ocupacional - UFMG****DECISÃO**

O Comitê de Ética em Pesquisa da UFMG – COEP aprovou, no dia 09 de agosto de 2017, o projeto de pesquisa intitulado **“Desempenho motor e cognitivo de crianças com transtorno de déficit de atenção e hiperatividade na realização de tarefa dupla”** bem como:

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido;

Termo de Assentimento Livre e Esclarecido.

O relatório final ou parcial deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto através da Plataforma Brasil.


Profa.Dra. Vivian Resende
Coordenadora do COEP-UFMG

ANEXO C

Instrumento: Versão Portuguesa do Swanson Noland and Pelham-IV (SNAP IV)

MTA-SNAP-IV – Escala sobre o comportamento da CRIANÇA/ADOLESCENTE

Nome da criança/adolescente: _____

Data de Nascimento: ____/____/____ Idade: _____ Ano/Série: ____/____ Sala: _____

Nome do Informante: _____ Responsável Professor(a)

Contato do informante (telefone e/ou e-mail): _____ Data de hoje: ____/____/____

<i>Por favor, responda as questões abaixo referentes à criança/adolescente participante. Se ele/ela iniciou alguma medicação para controle de sintomas cognitivos ou de comportamento, é importante que você responda de acordo com o comportamento anterior à introdução da medicação. Para cada item, escolha a coluna que melhor descreve a criança/adolescente. (MARQUE UM X):</i>	Nem um pouco	Só um pouco	Bastante	Demais
1. Não consegue prestar muita atenção a detalhes ou comete erros por descuido nos trabalhos da escola ou tarefas.	0	1	2	3
2. Tem dificuldade de manter a atenção em tarefas ou atividades de lazer.	0	1	2	3
3. Parece não estar ouvindo quando se fala diretamente com ele.	0	1	2	3
4. Não segue instruções até o fim e não termina deveres de escola, tarefas ou obrigações.	0	1	2	3
5. Tem dificuldade para organizar tarefas e atividades.	0	1	2	3
6. Evita, não gosta ou se envolve contra a vontade em tarefas que exigem esforço mental prolongado.	0	1	2	3
7. Perde coisas necessárias para atividades (p.ex.: brinquedos, deveres da escola, lápis ou livros).	0	1	2	3
8. Distrai-se com estímulos externos.	0	1	2	3
9. É esquecido em atividades do dia-a-dia.	0	1	2	3
10. Mexe com as mãos ou os pés ou se remexe na cadeira.	0	1	2	3
11. Sai do lugar na sala de aula ou em outras situações em que se espera que fique sentado.	0	1	2	3
12. Corre de um lado para outro ou sobe demais nas coisas em situações em que isto é inapropriado.	0	1	2	3
13. Tem dificuldade em brincar ou envolver-se em atividades de lazer de forma calma.	0	1	2	3
14. Não pára ou freqüentemente está a "mil por hora".	0	1	2	3
15. Fala em excesso.	0	1	2	3
16. Responde as perguntas de forma precipitada antes delas terem sido terminadas.	0	1	2	3
17. Tem dificuldade de esperar sua vez.	0	1	2	3
18. Interrompe os outros ou se intromete (por exemplo, mete-se nas conversas/jogos).	0	1	2	3
19. Descontrola-se.	0	1	2	3
20. Discute com adultos.	0	1	2	3
21. Desafia ativamente ou se recusa a atender pedidos ou regras de adultos.	0	1	2	3
22. Faz coisas de propósito que incomodam outras pessoas.	0	1	2	3
23. Culpa os outros pelos seus erros ou mau comportamento.	0	1	2	3
24. É irritável ou facilmente incomodado pelos outros.	0	1	2	3
25. É zangado e ressentido.	0	1	2	3
26. É maldoso ou vingativo.	0	1	2	3

ANEXO D

Instrumento: Critério Classificação Econômica Brasil – ABEP 2015

	Quantidade				
	0	1	2	3	4 ou +
Banheiros	0	3	7	10	14
Empregados domésticos	0	3	7	10	13
Automóveis	0	3	5	8	11
Microcomputador	0	3	6	8	11
Lava louca	0	3	6	6	6
Geladeira	0	2	3	5	5
Freezer	0	2	4	6	6
Lava roupa	0	2	4	6	6
DVD	0	1	3	4	6
Micro-ondas	0	2	4	4	4
Motocicleta	0	1	3	3	3
Secadora roupa	0	2	2	2	2

Grau de instrução do chefe de família e acesso a serviços públicos

Escolaridade da pessoa de referência	
Analfabeto / Fundamental I incompleto	0
Fundamental I completo / Fundamental II incompleto	1
Fundamental II completo / Médio incompleto	2
Médio completo / Superior incompleto	4
Superior completo	7
Serviços públicos	
	Não Sim
Água encanada	0 4
Rua pavimentada	0 2

MINICURRÍCULO DO DISCENTE

1. FORMAÇÃO ACADÊMICA & TITULAÇÃO

- 2015 - Atual Doutoranda em Ciências da Reabilitação
 Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Brasil
 Bolsista: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).
 Período de Doutorado Sanduíche: 01/03/18 – 31/08/18
University of Cincinnati, Cincinnati, Ohio, United of States.
 Bolsista: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).
 Orientadora: Marisa Cotta Mancini
 Coorientadora: Paula Lanna Pereira da Silva
 Colaborador no exterior: Michael A. Riley
- 2011 - 2013 Mestrado em Ciências da Reabilitação
 Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Brasil
 Título: Percebendo a *affordance* alcançável: efeito da demanda postural
 Orientador: Paula Lanna Pereira da Silva
 Bolsista: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
- 2006 - 2010 Graduação em Fisioterapia
 Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, Brasil
 Bolsista de Iniciação Científica: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – 2009 / 2010.
 Orientador: Sérgio Teixeira da Fonseca

2. FORMAÇÃO COMPLEMENTAR

- 2018 - 2018 Advanced Training Institute on Nonlinear Methods for Psychological Science
 Instituição: *University of Cincinnati*
 Carga horária: 40 horas
- 2018 - 2018 Aprimoramento Didático do Ensino Superior; Tema: Aprendizagem Baseada em Equipes e Instrução por Pares
 Instituição: UFMG
 Carga horária: 2 horas
- 2015 - 2015 Regressão Linear
 Instituição: Programa de Treinamento Intensivo em Metodologia Quantitativa da UFMG na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
 Carga horária: 30 horas
- 2015 - 2015 Inferência Causal e Análise de Experimentos
 Instituição: Programa de Treinamento Intensivo em Metodologia Quantitativa da UFMG na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
 Carga horária: 15 horas
- 2015 - 2015 Modelos Hierárquicos
 Instituição: Programa de Treinamento Intensivo em Metodologia Quantitativa da UFMG na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas

Carga horária: 15 horas

- 2015 - 2015 Introdução ao Stata
Instituição: Programa de Treinamento Intensivo em Metodologia Quantitativa da UFMG na Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas
Carga horária: 15horas
- 2015 - 2015 Workshop: “Estratégia e dicas para se escrever um artigo de alta qualidade” promovido pela Editage
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Carga horária: 4 horas
- 2014 - 2014 Treinamento sobre os produtos da Web of Science: Web of Science, Endnote Online e DII-Derwent Innvations Index
Instituição: Setor de Apoio aos Usuários do Portal Capes na UFMG – Diretoria do Sistema de Bibliotecas.
Carga horária: 4h e 30min
- 2014 - 2014 “Publication Ethics” and “Optimizing your Chances of Acceptance in Journals”
Instituição: Setor de Apoio aos Usuários do Portal Capes na UFMG – Diretoria do Sistema de Bibliotecas.
Carga horária: 4 horas

3. VÍNCULO INSTITUCIONAL E ATUAÇÃO PROFISSIONAL

- 2015 - 2019 Universidade Federal de Minas Gerais
Bolsista CAPES
- 2019 - Atual Associação Mineira de Reabilitação
Fisioterapeuta do Núcleo de Ensino e Pesquisa
Carga horária: 15 horas
- 2015 - Atual Curso de Especialização em Fisioterapia Ortopédica - UFMG
Professora convidada – Módulo: Comportamento Motor
Carga horária: 15 horas
- 2015 - Atual Curso de Especialização em Fisioterapia Ortopédica e Esportiva – Centro Universitário de Belo Horizonte
Professora convidada – Módulo: "Teorias de controle motor: Contribuição para o entendimento de funcionalidade e incapacidade"
Carga horaria: 20 horas
- 2016 - 2018 Associação Salgado de Oliveira de Educação e Cultura
Professora: Fisioterapia Pediátrica I (5º período), Fisioterapia Neurológica I (5º período), Fisioterapia Pediátrica II (6º período), Fisioterapia Neurológica II (6º período).
Carga horária: 13 horas
- 2013 - 2015 Universidade Federal de Minas Gerais
Bolsista de Apoio Técnico – CNPq
Coordenadora: Marisa Cotta Mancini
- 2013 - 2017 Universidade Federal de Minas Gerais
Professora convidada para colaborar nas disciplinas de Pediatria I e

Movimento e Desenvolvimento Humano I com diversos tópicos: Teorias de controle motor, GMFM, GMFCS, Movement ABC – 2 edição, etc.

4. EXPERIÊNCIA CIENTÍFICA

Artigos completos publicados em periódicos

VAZ, D. V.; **Avelar, B.S.**; RESENDE, R. A. Effects of attentional focus on movement coordination complexity. *Human Movement Science JCR*, v. 64, p. 171-180, 2019.

AQUINO, M.; **Avelar, B. S.**; OCARINO, J.; Silva, P. L.; RESENDE, R. A. Reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older adults. *Musculoskeletal Science and Practice*, v. 36, p. 92-95, 2018.

AQUINO, M.R.C.; **Avelar, B. S.**; SILVA, P. L.; OCARINO, J. M.; RESENDE, R. A. Response to Letter to the Editor concerning -Reliability of Foot Posture Index individual and total scores for adults and older people-. *Musculoskeletal Science and Practice*, v. 37, p. e82, 2018.

MANCINI, MARISA C.; COSTER, WENDY J.; AMARAL, MAÍRA F.; **Avelar, Bruna S.**; FREITAS, RAPHAEL; SAMPAIO, ROSANA F. New version of the Pediatric Evaluation of Disability Inventory (PEDI-CAT): translation, cultural adaptation to Brazil and analyses of psychometric properties. *REVISTA BRASILEIRA DE FISIOTERAPIA (ONLINE) JCR*, v. 20, p. 561-570, 2016.

SILVA, P. L.; BOOTSMA, R. J.; FIGUEIREDO, P. R. P.; **AVELAR, B. S.**; DE ANDRADE, A. G. P.; FONSECA, S. T.; MANCINI, M. C. Task difficulty and inertial properties of hand-held tools: An assessment of their concurrent effects on precision aiming. *Human Movement Science JCR*, v. 48, p. 161-170, 2016.

FIGUEIREDO, P. R. P.; SILVA, P. L.; **AVELAR, B. S.**; DA FONSECA, S. T.; BOOTSMA, R. J.; MANCINI, M. C. Upper limb performance and the structuring of joint movement in teenagers with cerebral palsy: the reciprocal role of task demands and action capabilities. *Experimental Brain Research JCR*, v. 233, p. 1155-1164, 2015.

FIGUEIREDO, P. R. P.; SILVA, P. L. P.; **Avelar, B. S.**; CHAGAS, P. S. C. ; OLIVEIRA, L. C. P. ; MANCINI, M. C. Assessment of gait in toddlers with normal motor development and in hemiplegic children with mild motor impairment: a validity study. *Brazilian Journal of Physical Therapy JCR*, v. 17, p. 359-366, 2013.

PINHEIRO, M. B.; **Avelar, B.S.**; TEIXEIRA-SALMELA, L. F. Implicações clínicas das respostas dos tecidos musculares e conjuntivos ao estresse físico. *Revista Terapia Manual*, v. 11, p. 111-116, 2013.

Orientação Pós-graduação

Especialização em Curso de Especialização em Fisioterapia-Ortopedia - UFMG

2017 - Gleiciellen Fernandes. Estratégias de tratamento para a tenossinovite estenosante em adultos: uma revisão de literatura.

2016 - Flavia Marques. Alterações em parâmetros cinéticos e/ou cinemáticos da marcha em pacientes com atroas de joelhos.

2016 - Marcos Renato. Relação entre a pronação excessiva e dor patelofemoral.

2015 - Nayara Soares de Amorim. Instrumentos Clínicos para medida do posicionamento da pelve no plano sagital: revisão da literatura.

2012 - Ana Cláudia Gomes Oliveira. Análise da eficácia do treino de equilíbrio no tratamento de entorses de tornozelos e na prevenção de episódios recorrentes: uma revisão da literatura.

2012 - Guilherme Augusto Santos Araujo. Eficácia de palmilhas biomecânicas na correção da pronação excessiva.

Co-orientação graduação

Fisioterapia e Terapia Ocupacional - UFMG

2018 - Gabriela Almeida Silvestrini. Perfil Motor de crianças com Transtorno de déficit de atenção com hiperatividade pelo *Movement Assessment Battery for Children* – 2º Edição.

2017 - Mariana Rodrigues Carvalho de Aquino. Confiabilidade Teste-Retest e Interexaminador do instrumento Foot Posture Index (FPI-6).

2017 - Gabrielle Alves e Verônica Cruz. Responsabilidade de Crianças e Adolescentes com as demandas em tarefas cotidianas.

2016 - Isabel Pires da Silva Gomes e Emerson de Araújo Nunes. Ângulos torcionais de MMII de crianças e adolescentes em fase de desenvolvimento ósseo e o ballet clássico.

2013 - Ana Gabriela Souza, Marina Godoy, Nayara de Amorim. Confiabilidade intraexaminador e interexaminador do foot posture index (FPI-6): estudo piloto.

2012 - Amanda Ariane Costa, Suellen Oliveira Multari. Influência de fatores geométricos e dinâmicos na capacidade de alcance de indivíduos jovens saudáveis.

Mais informações: <http://lattes.cnpq.br/0582858199091786>