



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

**ESTUDO BIOMECÂNICO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO
DA MARCHA INDEPENDENTE EM BEBÊS**

Giovana Levada

São Carlos 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

**ESTUDO BIOMECÂNICO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DA
MARCHA INDEPENDENTE EM BEBÊS**

Giovana Levada

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Fisioterapia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Paula Hentscel Lobo da Costa

Projeto desenvolvido com apoio CNPq

São Carlos

2011

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

L655eb

Levada, Giovana.

Estudo biomecânico do processo de aquisição da marcha independente em bebês / Giovana Levada. -- São Carlos : UFSCar, 2011.

94 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2011.

1. Fisioterapia. 2. Marcha Infantil. 3. Biomecânica. 4. Cinemática. I. Título.

CDD: 615.82 (20^a)

Membros da banca examinadora para defesa de dissertação de mestrado de GIOVANA LEVADA, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, em 08 de julho de 2011

Banca Examinadora:



**Prof.^a Dr.^a Paula Hentschel Lobo da Costa
(UFSCar)**



**Prof. Dr. Paulo Roberto Pereira Santiago
(USP)**



**Prof.^a Dr.^a Nelci Adriana Cicuto Ferreira Rocha
(UFSCar)**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Elsa e Antonio**, por todo amor, paciência e apoio nos difíceis momentos desta trajetória. Por acreditarem e me incentivarem em todas as decisões.

Amo vocês !

AGRADECIMENTOS

A caminhada para produção desse trabalho foi longa e em alguns momentos muito difícil, mas muitas pessoas estiveram presentes me apoiando. E aqui quero agradecê-las por todo o carinho que recebi.

Agradeço primeiro a **Deus** que nunca me deixou desamparada, pela força e coragem que permitiram que eu continuasse com a certeza de que tudo daria certo no final.

À minha querida orientadora **Paula**. Obrigada por todas as oportunidades, ensinamentos, apoio e compreensão. Pela ajuda em várias coletas e por acreditar que eu seria capaz. Tenho orgulho de ter sido orientada por você.

Aos meus pais, **Elsa e Antonio**, que são pessoas maravilhosas e o alicerce da minha vida. À minha mãe, por me mostrar o verdadeiro amor a todo tempo. As suas palavras doces me acalmaram em momentos em que achei que não conseguiria mais. Ao meu pai, que me ensinou a lutar (e muito) para alcançar os sonhos. O seu exemplo de força e superação foi crucial para eu ter certeza de que estava no caminho certo. Sem vocês, certamente eu não conseguiria. Agradeço também pela ajuda em várias coletas de dados quando estive sozinha. Muito Obrigada.

Ao meu **Lu**, que nesse período foi meu namorado, noivo e agora meu marido. Obrigada por me fazer feliz todo dia, por me fazer rir de certas situações e me consolar em outras. Você é o meu amor e eu te amo muito!

Aos meus irmãos **Rogério e André**. Só nós sabemos o que é viver na família *Levada*. Tem dias que são muito difíceis, mas o mais importante é que nunca nos separamos e apesar das brigas e confusões conseguimos rir um do outro. Eu amo vocês!

As minhas amigas “irmãs”, **Rachel, Vanessa, Aline Greco, Alinininha, Juliana e Carol**. Obrigada por vocês sempre estarem presentes em minha vida, me apoiando e

aconselhando. Os momentos ao lado de vocês são sempre muito bons e engraçados. Eu amo vocês.

À **Kelly** da Pós, por sempre ser atenciosa, paciente e me ajudar com as dúvidas.

À **Kelli**, amiga de laboratório, pelos momentos de descontração no NAM e ajuda durante a coleta de dados.

À **Fernanda** e **Carol** por me ajudarem nas coletas. Com certeza o aprendizado adquirido está além do profissional.

À **Nadi**, pela ajuda no processamento dos dados e por me ouvir e aconselhar em situações complicadas. Aprendi muito com você durante o período em que estive presente no laboratório.

Ao **Paulo "Preto"**, que sempre foi atencioso e me ajudou com o processamento dos dados da cinemática.

Aos novos amigos da UNEC **Sueli, Júlio, Andréa, Priscila** e **Léo** por me ajudarem nessa nova fase da vida e torcerem por mim.

À minha nova família **Lutz, Zezeca, Gregor, Luanna, Maria Júlia, Tia Cema, Vó Dite, Vó Xuxu** e todos aqueles de Nanuque que me acolheram com muito amor. Obrigada pelo incentivo e pelo carinho.

Aos pais das crianças, que permitiram e acompanharam seus filhos durante a pesquisa.

Ao **CNPq** pelo auxílio financeiro.

E a todos que de alguma forma estiveram presentes durante essa caminhada e me ajudaram chegar até aqui.

Muito Obrigada !

**Tudo tem seu apogeu e seu declínio.
É natural que seja assim, todavia, quando tudo parece convergir para o que supomos o
nada, eis que a vida ressurge, triunfante e bela.
Novas folhas, novas flores, na infinita benção do recomeço!**

Francisco Cândido Xavier

RESUMO

A aquisição da marcha independente é um importante marco desenvolvimental e considerada o maior desafio biomecânico a ser vencido pela criança. Nos primeiros 5-6 meses do andar independente, rápidas mudanças acontecem em todos os parâmetros da marcha. Um aspecto que se destaca é o grau de variabilidade apresentado pelo padrão de marcha nessa fase, característico do processo de aquisição. Baseado nessas características, o trabalho apresentado teve como objetivo principal compreender o processo de aquisição e desenvolvimento do andar independente através de variáveis biomecânicas. Foi realizado um estudo de caráter longitudinal e as variáveis analisadas foram agrupadas em cinéticas e cinemáticas. Foram realizadas três avaliações durante o período de três meses. Dez crianças sem nenhum comprometimento neuro-músculo-esquelético com idade cronológica de 13 meses na primeira avaliação participaram do estudo. O projeto foi aprovado e protocolado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Carlos (Nº13/2010). As crianças foram encorajadas a caminhar uma distância de cinco metros em velocidade auto-selecionada. O Estudo I teve como objetivo verificar a variabilidade das forças de reação do solo (FRS) durante as avaliações. Não foram evidenciadas diferenças significativas nas variáveis discretas, porém, houve redução no coeficiente de variabilidade das componentes vertical e horizontal de reação do solo com o aumento da experiência do andar. O Estudo II verificou mudanças no comportamento de variáveis cinemáticas. Foram estudados parâmetros espaço-temporais e ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril. Novamente, não foram encontradas diferenças significativas entre as três avaliações feitas em intervalos de um mês, entretanto as crianças aumentaram qualitativamente a velocidade e a cadência com o aumento da experiência do andar e diminuíram o tempo de apoio duplo e a duração da passada. Além disso, houve aumento no primeiro pico de flexão do joelho na fase de apoio durante as avaliações. A experiência adquirida ao longo de três meses na marcha pelas crianças deste trabalho não foi suficiente para provocar mudanças nas variáveis biomecânicas estudadas. Porém, a redução gradual dos coeficientes de variação entre as avaliações e as mudanças nos parâmetros espaço-temporais sugerem maturação progressiva da marcha.

Palavras-chave: Variabilidade. Forças de Reação do Solo. Cinemática. Marcha Infantil.

ABSTRACT

The acquisition of independent walking is an important motor milestone and can be considered the greatest biomechanical challenge in infancy. In the first 5-6 months of independent walking, important transitions appear in all gait parameters. One aspect to take notice is the high level of variability during this acquisition process. Based on these characteristics, this work contributed to better understand the acquisition process of independent walking according to biomechanical variables. A longitudinal study was conducted with three different assessments along a three-month period. Kinetic and kinematic variables were analyzed. Ten toddlers of 13 months without any neuromuscular disorders participated in this study. The project was approved by the Sao Carlos University Ethics Committee (Number 013/2010). The toddlers were encouraged to walk freely on a 5 meter walkway, keeping natural speed. The Study I verified the variability in the Ground Reaction Forces (GRF) during the assessments. The Friedman's ANOVA did not reveal significant differences in the discrete variables, despite the reduction in the Coefficient of Variation (CV) of the vertical and horizontal components of the GRF. The Study II verified changes in kinematic variables, using spatio-temporal parameters and knee, ankle and hip joint angles. Once again no significant differences were found, however toddlers showed speed and cadence improvements and also reduction in the double support time and stride duration. Moreover, there was an increase in the first wave of the knee flexion. The gait experience acquired during the first three-months of independent walking to these children was not enough to cause significant changes in the biomechanical variables studied here. However, the progressive reduction in the CV between assessments and the changes in some spatio-temporal parameters suggest progressive gait maturation.

Key words: variability, ground reaction forces, kinematics, toddler gait

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráficos selecionados das FRS das componentes vertical (a) e ântero-posterior (b) de um participante.....	28
Figura 2 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 1ª avaliação (sujeito 8)	32
Figura 3 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 2ª avaliação (sujeito 8)	32
Figura 4 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 3ª avaliação (sujeito 8)	32
Figura 5 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 1ª avaliação (sujeito 8)	33
Figura 6 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 2ª avaliação (sujeito 8)	33
Figura 7 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 3ª avaliação (sujeito 8)	33
Figura 8 - Desenho esquemático do posicionamento das câmeras e da passarela	54
Figura 9 - Foto ambiente do laboratório com o volume usado para de calibração das imagens.....	55
Figura 10 - Imagem da criança em posição neutra.....	56
Figura 11 - Imagem de vídeo de uma tentativa da marcha.....	57
Figura 12 - Imagem de vídeo de uma tentativa da marcha com apoio	57
Figura 13 - Representação esquemática dos ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril.....	60
Figura 14: Variáveis discretas selecionadas para análise dos deslocamentos angulares do plano sagital para o joelho (a), o quadril (b) e tornozelo (c). A linha vertical sinaliza o final da fase de apoio e o início da fase de balanço no ciclo da marcha	62
Figura 15: Deslocamento angular médio do joelho durante o ciclo da marcha dos sujeitos 1 e 5.	67
Figura 16: Valores médios para primeira (AV1), segunda (AV2) e terceira avaliação (AV3) dos deslocamentos angulares durante o ciclo da marcha (%). (a) tornozelo, (b) joelho, (c) quadril. Valores positivos indicam dorsiflexão do tornozelo e flexão do joelho e quadril. Valores negativos indicam flexão plantar do tornozelo e extensão do joelho e quadril.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das crianças – ESTUDO I	24
Tabela 2 – Massa e estatura das crianças avaliadas nas três avaliações	25
Tabela 3 – Agrupamento das crianças avaliadas de acordo com a experiência no andar independente na primeira avaliação.....	26
Tabela 4 - Valores médios (desvio padrão) das variáveis discretas das forças de reação do solo, normalizadas pelo peso corporal.....	30
Tabela 5 - Valores médios (desvio-padrão) dos parâmetros temporais, normalizados pela porcentagem da fase de apoio	30
Tabela 6 - Valores médios dos coeficientes de variação (CV) para as curvas da componente vertical das FRS nos três grupos e nas três avaliações	34
Tabela 7 - Valores médios dos coeficientes de variação (CV) para as curvas da componente ântero-posterior das FRS nos três grupos e nas três avaliações.....	35
Tabela 8 - Características dos sujeitos – ESTUDO II.....	52
Tabela 9 - Valores médios (desvios-padrão) dos parâmetros espaço-temporais analisados no decorrer das três avaliações	64
Tabela 10 - Valores médios (desvios-padrão) das variáveis selecionadas dos ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril	65

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas de dados da avaliação de acordo com a idade cronológica.....	88
APÊNDICE B – Características do nascimento dos sujeitos	89
APÊNDICE C- Dados antropométricos de cada avaliação dos sujeitos	90
APÊNDICE D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	91
APÊNDICE E- Questionário de Anamnese.....	93
APÊNDICE F- Comitê de Ética	934

SUMÁRIO

1	CONTEXTUALIZAÇÃO.....	14
2	ESTUDO I.....	20
2.1	Introdução	20
2.2	Materiais e Métodos	23
2.2.1	Sujeitos.....	24
2.2.2	Instrumentos e Procedimentos.....	25
2.2.3	Processamento dos dados.....	27
2.3	Resultados	29
2.3.1	Variáveis Discretas.....	29
2.3.2	Comportamento da curva.....	31
2.3.3	Comportamento da variabilidade	34
2.4	Discussão.....	35
2.4.1	Variáveis Discretas.....	37
2.4.2	Comportamento da curva.....	39
2.4.3	Comportamento da variabilidade	40
2.5	Conclusões	42
2.6	Limitações do Estudo.....	44
3	OBSERVAÇÕES.....	47
4	ESTUDO II	49
4.1	Introdução	49
4.2	Materiais e Métodos	51
4.2.1	Sujeitos.....	51
4.2.2	Instrumentos e Procedimentos.....	52
4.2.3	Processamento dos dados.....	58
4.2.4	Variáveis definidas para análise	59

4.2.5	Análise Estatística	63
4.3	Resultados	63
4.3.1	Parâmetros Espaço-Temporais.....	63
4.3.2	Ângulos articulares.....	65
4.3.3	Análise Qualitativa do Deslocamento Angular.....	67
4.4	Discussão.....	69
4.4.1	Parâmetros Espaço-Temporais	69
4.4.2	Ângulos articulares.....	72
4.5	Conclusões	74
4.6	Limitações do Estudo.....	76
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
7	APÊNDICES	87

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Estudar o desenvolvimento motor tem sido foco de muitos estudiosos e educadores há muitos anos. O desenvolvimento motor pode ser descrito como uma alteração contínua no comportamento motor que se inicia na concepção e cessa com a morte ([Gallahue & Ozmun, 2003](#)).

Os primeiros estudos sobre desenvolvimento motor partiram da perspectiva maturacional dos trabalhos de Arnold Gesell (1928), Myrtle McGraw (1935), Mary Shirley (1931) e Nancy Bailey (1935). Essa perspectiva aponta que a aquisição de habilidades motoras ocorre devido à maturação do Sistema Nervoso Central (SNC). Assim, as transformações motoras ocorrem somente a partir de mudanças intrínsecas do organismo sem ser influenciadas pelo ambiente. ([Thelen, 1995](#)). As observações realizadas pelos pesquisadores da Abordagem Neuro-Maturacional fornecem grande quantidade de informações sobre a progressão seqüencial do desenvolvimento motor normal ([Campos et al., 2005](#); [Gallahue & Ozmun, 2003](#)).

A partir de 1980, Esther Thelen e Jane Clark adotaram a abordagem dos Sistemas Dinâmicos para os estudos em desenvolvimento motor ([Hadders-Algra, 2002](#)). Essa abordagem considera que o desenvolvimento motor seja composto por um conjunto de mudanças complexas que ocorrem ao longo do tempo, devidas à interação de múltiplos componentes, tais como os fatores intrínsecos como força muscular, peso corporal e desenvolvimento cerebral e os fatores extrínsecos, representados pelas condições ambientais ([Thelen, 1995](#)).

O uso da Abordagem dos Sistemas Dinâmicos no estudo do desenvolvimento motor é interessante porque as diferentes influências ambientais que o indivíduo

sofre são consideradas precursoras de mudanças no comportamento motor, influenciando positiva ou negativamente a aquisição de uma nova habilidade e, assim, mudanças no comportamento deixam de depender exclusivamente da maturação do SNC ([Clark](#), 1994).

A Biomecânica tem estudado o desenvolvimento motor não apenas como um processo submetido à seqüência de maturação dos centros e vias do sistema nervoso, mas também como um processo regulado a partir da interação dinâmica do indivíduo com o seu meio ambiente. O termo “dinâmica” tem neste contexto o sentido de atividade coordenativa do sistema nervoso central envolvida numa dada tarefa motora ([Thelen](#), 1986).

Neste caso, pesquisadores interessam-se pelo exame de como os desafios biomecânicos encontrados pelas crianças no curso de seu desenvolvimento e suas possíveis soluções modulam a formação de padrões progressivamente mais maduros de movimentos.

O período compreendido entre o 12º e 15º mês de vida é conhecido como aquele em que o bebê inicia o andar independente. Após essa aquisição, o processo de refinamento do padrão do andar continua, com um ritmo de desenvolvimento não estável na aquisição das habilidades motoras, podendo haver períodos em que nenhuma habilidade motora seja adquirida e outros com grandes saltos qualitativos ([Thelen](#) & Ulrich, 1991). Durante esse período, que pode perdurar dos dois até os cinco anos de idade, a depender do autor e das variáveis usadas como referência ([Beck et al.](#), 1981; [Bernstein](#), 1967; [Sutherland et al.](#), 1988), pode-se considerar que o andar apresenta um padrão bem adaptado às características do sistema motor

infantil, ao invés de qualificá-lo como “imaturo ou mal-adaptado” ([Ivanenko et al.](#), 2007).

Muitos estudos têm descrito padrões de movimento infantil e seu desenvolvimento ([Clark & Phillips](#), 1993; [Hallemans et al.](#), 2005; [Marques-Bruna & Grimshaw](#), 2000; [Okamoto et al.](#), 2003; [Ounpuu et al.](#), 1991; [Schneider et al.](#), 1990; [Sutherland](#), 1988), porém, compreender os mecanismos da aquisição e domínio do andar independente em crianças e os fatores que os influenciam continua sendo um grande desafio para a pesquisa em diferentes áreas do conhecimento.

O início do andar independente é caracterizado pelo controle imaturo da postura e conseqüentemente variações nas passadas e freqüentes quedas. Quando a criança atinge aproximadamente três anos de idade, o andar que antes se apresentava imaturo e sem firmeza, agora é substituído por um andar relativamente mais estável. Contudo, mudanças sutis continuam ocorrendo além dessa idade ([Hausdorff et al.](#), 1999). Assim, pode-se dizer que a partir dos três anos de idade o andar torna-se mais regular, com redução da variabilidade entre os ciclos.

A variabilidade é uma propriedade importante do sistema nervoso central e representa uma característica relevante durante a infância. O estudo da variabilidade pode ajudar na avaliação da integridade do cérebro ([Townen](#), 1993).

A variabilidade de movimento foi tradicionalmente interpretada como um problema a ser superado pelo sistema motor ([Newell & Corcos](#), 1993; [Geert & Dijk](#), 2002). Quando se avalia uma tendência geral, flutuações são freqüentemente consideradas como um erro inconveniente. ([Geert & Dijk](#), 2002).

De acordo com a Perspectiva dos Sistemas Dinâmicos, variabilidade é entendida como uma medida de flexibilidade de um padrão de movimento particular,

segundo a qual, uma menor variabilidade pode indicar um comportamento mais estável.

[Hadders-Algra](#) (2000) sugere que a variabilidade no desenvolvimento normal possa ser explicada através da Teoria Seleção Grupo Neuronal (Neuronal Group Selection Theory – NGST). Formulada por Edelman (1987), pode ser entendida como uma combinação das perspectivas neuro-maturacional e sistemas dinâmicos, pois a variabilidade nesse contexto é discutida em dois tipos: variabilidade primária e variabilidade secundária.

A variabilidade primária ocorre durante a vida fetal, continua após o nascimento e diminui em torno dos quatro meses de idade. Nesse período ocorre abundante variação no comportamento motor ([Hadders-Algra](#), 2000; [Piek](#), 2002). Entre a variabilidade primária e a variabilidade secundária, existe um período chamado de “processo de seleção”, resultando em uma redução temporária da variabilidade e os padrões de movimentos parecem mais eficientes ([Piek](#), 2002). [Hadders-Algra](#) (2000) argumenta que esse estágio ocorre em marcos desenvolvimentais como o engatinhar e o andar.

Após esse estágio, a variabilidade aumenta novamente, determinando o período da variabilidade secundária. Esse período é caracterizado por uma situação de maturidade começando na faixa de dois a três anos de idade ([Piek](#), 2002). Dessa forma, está claro que a discussão sobre variabilidade é um componente essencial para compreender mais acerca do desenvolvimento motor.

Outro conceito de variabilidade é citado pelos autores [Masani](#) e colaboradores (2002) que apontam instabilidade quando a variabilidade é excessiva. A baixa

variabilidade é vista como um sinal de que o sistema neuro-músculo-esquelético está bem estabilizado, enquanto que a alta variabilidade indica pouca estabilização.

A variabilidade pode ser definida operacionalmente como diferenças no nível de uma variável desenvolvimental estudada entre indivíduos e entre medidas repetidas. Nos últimos anos, pesquisadores têm reconhecido o possível significado da variabilidade intra-individual e demonstram um maior interesse nos aspectos de mudanças que ocorrem durante o desenvolvimento do indivíduo ([Geert & Dijk, 2002](#)). Propriedades decorrentes do organismo (força, amplitude de movimento), do ambiente (tipo de superfície, temperatura) assim como da tarefa (velocidade do andar) guiam o processo de seleção. Assim qualquer componente do sistema afeta o comportamento e pode ser praticado ([Haehl et al, 2000](#)).

A noção de que as pessoas se desenvolvem em diferentes níveis ao mesmo tempo e a crença de que essa variabilidade pode ser um fator essencial na promoção do desenvolvimento têm se tornado cada vez mais importantes nos estudos atuais ([Geert & Dijk, 2002](#)).

Dessa forma, pode-se considerar que a discussão sobre variabilidade é um componente essencial para se compreender mais acerca do desenvolvimento motor infantil.

Variáveis biomecânicas podem ajudar-nos a compreender melhor as mudanças que ocorrem na aquisição de habilidades motoras e a quantificar a variabilidade no padrão do andar infantil no período inicial de seu desenvolvimento. O estudo deste período, considerado como um grande marco no desenvolvimento motor é importante, pois o sistema motor da criança precisa adaptar-se às rápidas

mudanças impostas tanto pelos fatores intrínsecos ao indivíduo quanto pelas demandas impostas pelo ambiente.

A cinemática pode ser definida como o estudo do movimento sem considerar as forças produzidas por ele. Ângulos articulares são amplamente usados para demonstrar as mudanças rotacionais que ocorrem entre os segmentos corporais. Nós podemos usar as mudanças na dinâmica dos ângulos articulares como um método de avaliação da maturação da marcha ([Sutherland](#), 1997)

Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar o período inicial de aquisição e desenvolvimento do andar independente através de variáveis biomecânicas. O estudo teve caráter longitudinal, todos os sujeitos foram avaliados três vezes em um período de três meses. Foram realizados dois estudos complementares, descritos a seguir.

O Estudo I teve como objetivo avaliar o comportamento das forças de reação do solo nos primeiros meses de aquisição do andar, a fim de compreender a variabilidade no nível cinético de análise. Foram analisadas variáveis discretas e a variabilidade de toda dinâmica da curva das componentes ântero-posteriores e verticais das forças de reação do solo.

O Estudo II teve como objetivo principal verificar o comportamento de variáveis cinemáticas ao longo dos três meses de avaliações. Foram analisados parâmetros espaço-temporais e ângulos articulares de membros inferiores no plano sagital.

2 ESTUDO I

REDUÇÃO DA VARIABILIDADE CINÉTICA NOS PRIMEIROS MESES DA AQUISIÇÃO DO ANDAR INDEPENDENTE

2.1 Introdução

A aquisição da marcha pode ser considerada como o principal desafio a ser superado pelo desenvolvimento motor de um bebê ([Winter](#), 1991). Com aproximadamente um ano de idade, bebês adotam a posição ereta e são capazes de realizar os primeiros passos independentemente ([Grimshaw et al.](#), 1998, [Sutherland](#), 1997). O padrão do andar nessa fase está continuamente desafiado pelas características do campo gravitacional ([Lobo da Costa](#), 2008), além de ser influenciado pela carência de força muscular, por dificuldades no equilíbrio e no controle dos movimentos ([Hallemans et al.](#), 2005). Os primeiros 4-5 meses de experiência do andar independente compõem a chamada fase de transição em que o bebê aprende a coordenar sua postura na posição vertical e o movimento dos segmentos corporais em progressão para frente ([Bril & Brenière](#), 1992). Nesta fase de transição, o padrão de marcha da criança é tipicamente instável, apresenta grande variabilidade ([Hallemans et al.](#), 2005, [Cowgill et al.](#), 2010) e freqüentes quedas.

Variabilidade é uma característica essencial em sistemas biológicos. Na marcha típica, a variabilidade tem sido extensamente descrita em variáveis biomecânicas ([Hausdorff](#), 1999, [Jordan](#), 2007, [White et al.](#), 1999), bem como quando estudada em contextos de controle e desenvolvimento motores ([Thelen](#),

1986). Esta pode ser interpretada como uma qualidade que permite adaptação do padrão às demandas do indivíduo ou da tarefa, evidenciando que o sistema motor é capaz de selecionar uma ou outra trajetória de movimento. Comportamentos motores mais praticados são mais estáveis e evidenciam menores graus de variabilidade à medida que se tornam progressivamente mais habilidosos ([Piek](#), 2002; [Newell](#) & Corcos 1993). Esta variabilidade é considerada uma variabilidade dinâmica, pois representa uma variação funcionalmente relevante que permite o controle adaptativo do padrão.

A variabilidade pode ser relacionada à quantidade de uma dada variação (o número de variações) ou à qualidade, capacidade para variar ou mudar. [Townen](#) (1993) afirma que durante a vida pré-natal e a infância a quantidade de variações prevalece, a partir dessa idade segue um domínio da capacidade para variar. Os primeiros movimentos dos bebês parecem carecer de controle e coordenação, demonstrando grande variabilidade entre passos sucessivos.

[Jordan](#) e [Newell](#) (2008) afirmam que o estudo da variabilidade no ciclo da marcha contribui para a compreensão dos mecanismos de controle da locomoção humana. Estudos anteriores têm demonstrado que os lactentes conseguem adaptarem-se às diferentes condições ambientais ([Dominici et al](#); 2007). Antes mesmo de caminhar independentemente, os bebês quando apoiados conseguem dar passos variando a velocidade e a direção, com respostas apropriadas às perturbações externas ([Pang](#) & Yang, 2001). Estudar a variabilidade no início do andar independente pode ajudar-nos a compreender melhor como o sistema motor destas crianças se modifica frente à aquisição de uma nova habilidade. Além disso, como o fator experiência modula essa variabilidade.

Embora, pesquisadores de diferentes abordagens teóricas concordem sobre a importância da variabilidade, a origem e natureza da variabilidade na aquisição de padrões de movimentos são motivos de debates.

O período em que a criança inicia o andar independente é caracterizado por mudanças tanto qualitativas quanto quantitativas. Ela está em processo de desenvolver e selecionar estratégias adequadas e automatizar suas escolhas ([Townen](#), 1993). As crianças no início do andar encontram-se em um período rico em mudanças que afetam diretamente o padrão do andar e a variabilidade inerente a este. O sistema motor destas crianças precisa aprender a integrar as demandas posturais da posição ereta com as do equilíbrio dinâmico e ao mesmo tempo lidar com as mudanças em suas proporções corporais. Conseqüentemente, o comportamento da variabilidade durante a primeira fase do processo de aquisição do andar em crianças revela-se como um importante objeto de estudo, que pode ser analisado sob o nível cinético.

As forças de reação do solo (FRS) na marcha infantil têm sido muito estudadas para fins descritivos ([White](#), 1999; [Takegami](#), 1992; [Preis](#), 1997; [Hallemans](#), 2006), porém poucos estudos têm enfatizado as mudanças que ocorrem nessas variáveis no início do andar independente. As FRS representam a soma algébrica da aceleração da massa de todos os segmentos corporais, ou seja, o total líquido de todas as forças musculares e gravitacionais atuando em cada instante durante a fase de apoio ([Winter](#), 1991). O estudo das variáveis cinéticas é importante para a compreensão das causas do movimento ([Masani](#), 2002).

Para [Beck](#) e colaboradores (1981) as magnitudes relativas das forças de reação do solo diminuem com o aumento da idade até os cinco anos, período após o

qual se manteriam constantes. Esses autores encontraram mudanças significativas com o aumento da idade na componente ântero-posterior e vertical em velocidades médias.

[Takegami](#) (1992) estudou o comportamento das FRS de crianças sem desordens neuromusculares de quatro a dez anos de idade. [Hallemans](#) e colaboradores (2006) analisaram longitudinalmente mudanças no controle mecânico da marcha de dez crianças durante os cinco primeiros meses de andar independente.

Dessa forma, pode-se afirmar que avaliar longitudinalmente mudanças em variáveis biomecânicas e a variabilidade destas durante um período de três meses seja relevante, pois tal abordagem permite verificar a relação entre as mudanças nas variáveis biomecânicas, os níveis de variabilidade do padrão de andar e a aquisição da habilidade do andar independente.

Partindo do pressuposto de que a manifestação de padrões mais maduros de movimentos acontece quando o sistema motor responde às experiências no contexto funcional e às mudanças nas propriedades biomecânicas do organismo, espera-se verificar quantitativamente mudanças biomecânicas nos primeiros meses de aquisição do andar independente na direção de um padrão mais maduro da marcha.

2.2 Materiais e Métodos

2.2.1 Sujeitos

Foram convidados a participar do estudo os responsáveis por 62 crianças no total. Em razão de recusa ou não adequação dos critérios de inclusão apenas os responsáveis por 14 crianças compareceram na primeira avaliação. Entretanto, apenas 10 crianças concluíram o estudo. Foram descartados os dados de duas crianças por falta em uma das avaliações e os dados de duas crianças por apresentar desconforto durante as coletas de dados.

As dez crianças participantes do estudo eram nascidas a termo ($39,7 \pm 0,9$ semanas), com peso ao nascer superior a 2,500 g ($3,372 \pm 375$ g), sem qualquer tipo de comprometimento neuro-músculo-esquelético (Apêndice B). A Tabela 1 apresenta as características das crianças.

Tabela 1 – Características das crianças – ESTUDO I

Sujeito	Sexo	Gestação (semanas)	Peso ao nascimento (g)	Estatura ao nascimento (cm)	Primeiros passos independentes (meses)	Grupo
1	Feminino	40	3.610	49,5	12	B
2	Masculino	40	3.115	46,0	12	B
3	Feminino	40	4.190	51,0	13	A
4	Masculino	40	3.430	49,0	13	A
5	Feminino	40	3.290	48,0	15	A
6	Masculino	40	3.620	40,0	11	C
7	Masculino	40	3.130	50,0	10	C
8	Masculino	38	2.995	49,0	11	C
9	Masculino	41	3.415	49,0	12	B
10	Feminino	38	2.920	46,5	12	B

Todas as crianças apresentavam idade cronológica de 13 meses na primeira avaliação, 14 meses na segunda e 15 meses na terceira avaliação. A tabela 2 mostra os valores para peso e estatura nas três avaliações.

Tabela 2 – Massa e estatura das crianças avaliadas nas três avaliações

Sujeito	Massa na 1ª avaliação (Kg)	Estatura na 1ª avaliação (cm)	Massa na 2ª avaliação (Kg)	Estatura na 2ª avaliação (cm)	Massa na 3ª avaliação (Kg)	Estatura na 3ª avaliação (cm)
1	10,5	73,5	11,0	74,0	12,0	75,0
2	11,0	79,0	11,0	79,5	11,0	80,5
3	12,5	78,5	13,0	79,5	13,0	80,0
4	10,0	76,7	10,6	77,0	13,0	78,5
5	11,0	75,0	11,5	76,3	13,0	78,5
6	13,0	81	12,0	78,2	15,0	80,5
7	11,0	75,7	12,0	78,2	13,5	79,5
8	10,0	76,0	10,5	74,5	11,5	76,5
9	11,0	80,0	11,6	81,2	13,0	82,5
10	10,0	76,0	11,0	77,5	12,0	78,0

2.2.2 Instrumentos e Procedimentos

Esse estudo teve caráter longitudinal. Durante os primeiros meses do andar independente todas as crianças foram avaliadas três vezes com intervalo de um mês entre as avaliações. Foram coletados dados antropométricos de cada criança em cada avaliação (Apêndice C). Na primeira avaliação as crianças apresentavam idade cronológica de 13 meses. As crianças foram agrupadas em três grupos de acordo com a experiência de andar independente (AI) na primeira avaliação. No grupo A (GA - três indivíduos) as crianças não andavam independentemente na primeira

avaliação. Para esse grupo foi oferecido apoio para as mãos das crianças, que mantinham seus braços elevados acima da cabeça, realizando o andar com apoio. No grupo B (GB - quatro indivíduos), as crianças apresentavam um mês de AI e no grupo C (GC - três indivíduos) dois e três meses de AI na primeira avaliação (Tabela3).

Tabela 3 – Agrupamento das crianças avaliadas de acordo com a experiência no andar independente na primeira avaliação

Sujeito	Experiência do andar independente na 1ª avaliação (meses)	Experiência do andar independente na 2ª avaliação (meses)	Experiência do andar independente na 3ª avaliação (meses)	Grupo
1	1	2	3	B
2	1	2	3	B
3	andar com apoio	1	2	A
4	andar com apoio	1	2	A
5	andar com apoio	andar com apoio	no dia da avaliação	A
6	2	3	4	C
7	3	4	5	C
8	2	3	4	C
9	1	2	3	B
10	1	2	3	B

Os responsáveis pelas crianças foram informados sobre a proposta e relevância do estudo e, uma vez esclarecidos, preencheram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice D). Foi aplicado um questionário de anamnese no início da primeira avaliação (Apêndice E). O projeto foi aprovado e

protocolado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Nº13/2010).

As Forças de reação do solo (FRS) foram coletadas por duas plataformas de força da marca Bertec (BERTEC Corporation - modelo 4060-08) dispostas em série, sobre uma passarela anti-derrapante de cinco metros de comprimento. Após procedimento de calibração das plataformas, os dados foram amostrados a uma frequência de 100 Hz. Os dados da plataforma de força foram filtrados com filtro digital Butterworth de quarta ordem, com frequência de corte de 6 Hz e normalizados pelo respectivo peso corporal do participante.

As crianças caminharam uma distância de 5 metros em velocidade auto-selecionada sobre uma passarela coberta com um tapete emborrachado anti-derrapante, no centro estavam embutidas as plataformas de força. A tentativa era considerada válida quando a criança pisava com um único pé em uma das plataformas e continuasse sua marcha até o final da passarela. Foram consideradas para análise três tentativas válidas. Durante as coletas, as crianças permaneceram descalças e vestidas com shorts de lycra.

2.2.3 Processamento dos dados

Foram selecionadas para análise a componente vertical (F_z) e ântero-posterior (F_y) das forças de reação do solo (FRS). Os gráficos das FRS com as variáveis selecionadas para análise de um dos participantes na primeira avaliação estão representados na Figura 1. Na componente vertical das FRS (Figura 1 (a)) o primeiro pico (ataque do calcanhar ao solo) é definido como F_{z1} , o vale (valor mínimo que ocorre entre o primeiro e o segundo pico da componente vertical) como

Fz2, e o segundo pico (retirada do pé do solo) como Fz3. Similarmente para a componente ântero-posterior, Fy1 como força anterior máxima quando o calcanhar toca o solo e Fy2 como força posterior máxima na fase de propulsão (Figura 1 (b)). As forças de reação foram normalizadas pelo peso corporal. Os parâmetros temporais correspondentes as variáveis da força foram definidos como tz1, tz2, tz3 (direção vertical) e ty1, ty2 (direção ântero-posterior).

Os dados foram processados pelo programa *Origin 8.1*. O tratamento estatístico foi realizado no *STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCE* (SPSS) – versão 17.0. Para a avaliação de diferenças entre as três avaliações das variáveis discretas das forças de reação do solo foi realizada uma análise de medidas repetidas não paramétrica ANOVA de Friedman. A comparação entre os três grupos foi realizada através do teste não-paramétrico Kruskal-Wallis. O nível de significância utilizado foi de $p \leq 0,05$.

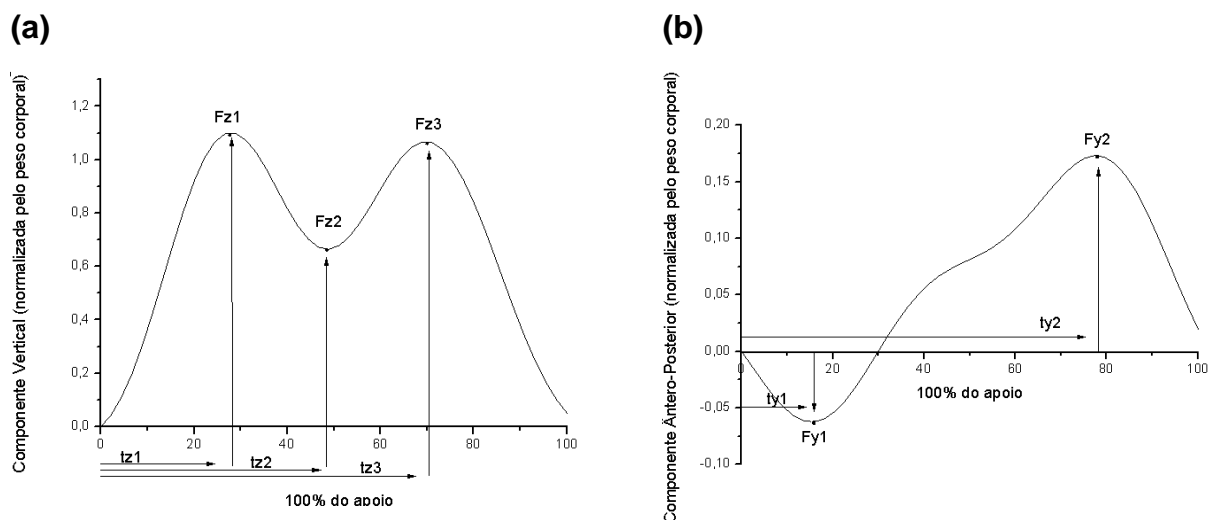


Figura 1 - Gráficos selecionados das FRS das componentes vertical (a) e ântero-posterior (b) de um participante.

Para o estudo do comportamento da variabilidade das forças de reação do solo, o coeficiente de variação (CV) foi calculado entre as tentativas individuais para cada avaliação de acordo com [Winter](#) (1991):

$$CV = \sqrt{\frac{\text{desvio padrão}}{\text{média}}} \times 100$$

2.3 Resultados

Os resultados apresentados representam respostas de três tentativas de cada sujeito para o andar. Foi realizada uma comparação longitudinal entre as três avaliações de todos os sujeitos e, em seguida, após reagrupados os sujeitos quanto à experiência com o andar independente, foram verificadas diferenças entre os três grupos nas três avaliações.

2.3.1 Variáveis Discretas

A Tabela 4 apresenta os valores médios e os desvios padrão de variáveis selecionadas das forças de reação do solo em suas componentes vertical e ântero-posterior para cada um dos grupos e em cada avaliação.

A Tabela 5 apresenta os valores médios e os desvios-padrão dos parâmetros temporais das FRS em porcentagem do tempo total de apoio para cada um dos grupos e em cada avaliação.

Tabela 4 - Valores médios (desvio padrão) das variáveis discretas das forças de reação do solo, normalizadas pelo peso corporal

Variável da FRS	1ª AVALIAÇÃO (%PC)			2ª AVALIAÇÃO (%PC)			3ª AVALIAÇÃO (%PC)		
	GA	GB	GC	GA	GB	GC	GA	GB	GC
Fz1	129(80)	107(20)	126(19)	97 (16)	115 (8)	139(14)	123(39)	105(9)	112(18)
Fz2	82 (44)	61 (11)	68 (12)	62 (7)	66 (11)	57 (6)	89 (36)	56 (9)	74 (16)
Fz3	110 (55)	87 (11)	91 (11)	85 (14)	83 (8)	99 (6)	107 (48)	87 (11)	84 (11)
Fy1	-12 (5)	-8 (28)	-15 (5)	-11 (2)	-23 (7)	-11 (6)	-11 (4)	-16 (7)	-9 (2)
Fy2	22 (17)	21 (10)	14 (1)	10 (2)	22 (10)	15 (2)	17 (6)	19 (7)	13 (2)

Tabela 5 - Valores médios (desvio-padrão) dos parâmetros temporais, normalizados pela porcentagem da fase de apoio

Variável da FRS	1ª AVALIAÇÃO (%PC)			2ª AVALIAÇÃO (%PC)			3ª AVALIAÇÃO (%PC)		
	GA	GB	GC	GA	GB	GC	GA	GB	GC
Tz1	25,3 (6)	21,2 (4)	27 (2)	27,8 (9)	30 (2)	28 (4)	30 (2)	25 (2)	32 (1)
Tz2	46 (9)	45 (4)	50 (4)	45 (9)	51 (2)	50 (3)	49 (5)	47 (4)	55 (5)
Tz3	68 (7)	63 (5)	67 (2)	61 (8)	68 (4)	70 (4)	66 (3)	67 (4)	69 (4)
Ty1	15 (4)	17 (2)	18 (1)	18 (2)	19 (1)	17 (1)	17 (1)	18 (1)	18 (2)
Ty2	79 (1)	74 (2)	71 (8)	75 (4)	75 (2)	73 (4)	75 (3)	75 (2)	72 (4)

Não foram encontradas diferenças significativas nas variáveis discretas e nos parâmetros temporais.

Porém, podemos destacar alguns pontos qualitativamente importantes. Os valores para o segundo pico da componente vertical ($Fz2$) ficaram abaixo do peso corporal.

Para o pico de frenação foram encontrados valores entre 8% e 23% do peso corporal e valores entre 10% e 22% para o pico de propulsão.

Pôde ser observada grande variação no tempo de apoio até o primeiro pico ($Tz1$). Os valores oscilaram entre 21,2% e 32% do tempo de apoio.

2.3.2 Comportamento da curva

Observações do comportamento da curva permitem verificar mudanças no padrão das forças de reação do solo e, assim, na interação do indivíduo com o ambiente.

As Figuras 2, 3 e 4 exemplificam a curva média (desvio padrão) das três tentativas para a componente vertical de um dos participantes (sujeito 8) na primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente.

As Figuras 5, 6 e 7 exemplificam a curva média (desvio padrão) das três tentativas para a componente ântero-posterior de um dos participantes (sujeito 8) na primeira, segunda e terceira avaliação, respectivamente.

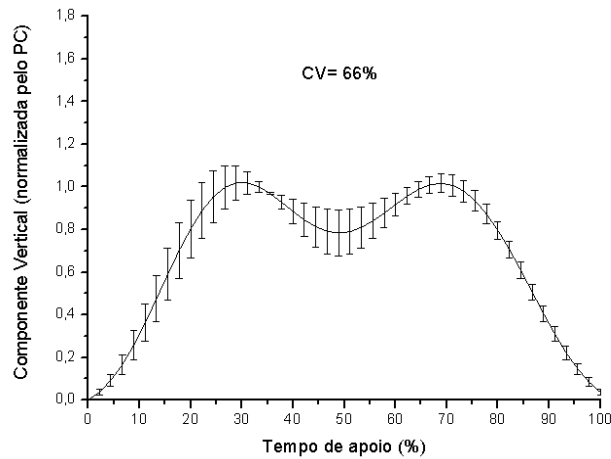


Figura 2 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 1ª avaliação (sujeito 8)

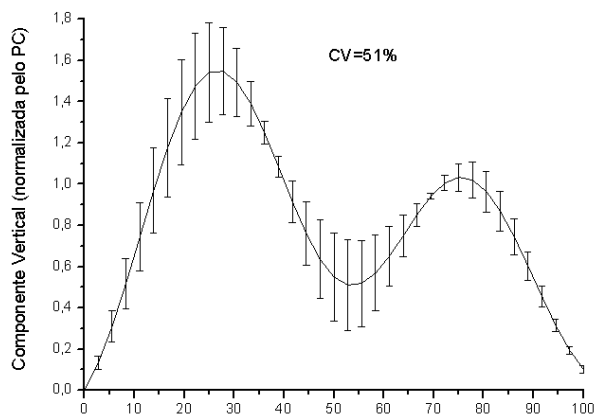


Figura 3 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 2ª avaliação (sujeito 8)

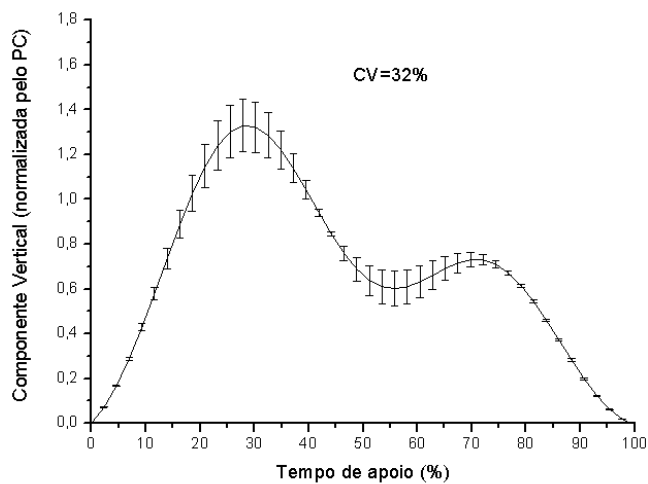


Figura 4 - Curva média (desvio padrão) para a componente vertical (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 3ª avaliação (sujeito 8)

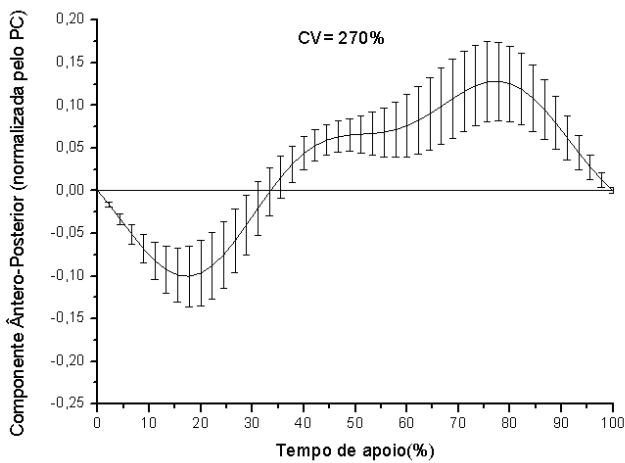


Figura 5 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 1ª avaliação (sujeito 8)

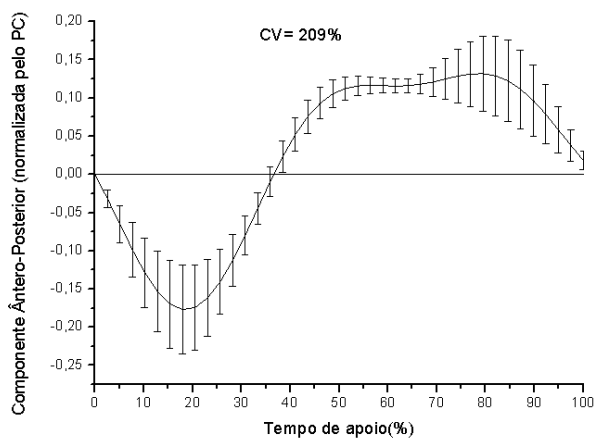


Figura 6 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 2ª avaliação (sujeito 8)

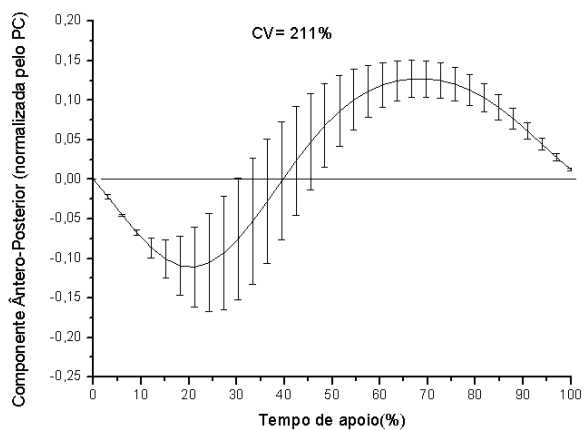


Figura 7 - Curva média (desvio padrão) para a componente ântero-posterior (normalizada pelo peso corporal) da FRS da 3ª avaliação (sujeito 8)

As crianças participantes deste estudo apresentaram padrão similar a curvas demonstradas nas figuras 2-7. O padrão típico de dois picos e um vale para a componente vertical e de um vale e um pico para a componente ântero-posterior já pode ser observado no início da marcha.

2.3.3 Comportamento da variabilidade

As tabelas 6 e 7 apresentam os valores médios dos coeficientes de variação para os três grupos para as componentes vertical e ântero-posterior respectivamente.

Tabela 6 - Valores médios dos coeficientes de variação (CV) para as curvas da componente vertical das FRS nos três grupos e nas três avaliações

Coeficiente de variação (%)			
	1ª AVALIAÇÃO	2ª AVALIAÇÃO	3ª AVALIAÇÃO
GA	70	61	60
GB	70	60	50
GC	68	64	54

Tabela 7 - Valores médios dos coeficientes de variação (CV) para as curvas da componente ântero-posterior das FRS nos três grupos e nas três avaliações

Coeficiente de variação (%)			
	1ª AVALIAÇÃO	2ª AVALIAÇÃO	3ª AVALIAÇÃO
GA	287	272	227
GB	230	200	230
GC	246	253	225

Para a componente vertical das FRS foram encontrados valores do CV entre 54 e 70% (Tabela 4). Houve redução do coeficiente de variação da primeira para segunda avaliação e da segunda para a terceira avaliação nos três grupos.

Para a componente ântero-posterior, os valores do CV ficaram entre 200% e 287% (tabela 5). Esses valores podem ser considerados altos quando comparados com os coeficientes de variação em estudos com crianças acima de 5 anos de idade e adultos. No GA e GC houve redução do CV da primeira para a segunda e da segunda para a terceira avaliação. No GB o CV ficou entre 200% e 230% (tabela 5).

2.4 Discussão

Esse estudo teve como objetivo estudar o comportamento das forças de reação do solo durante a aquisição do andar independente, a fim de verificar a variabilidade no nível cinético de análise. Todas as crianças avaliadas tinham a mesma idade cronológica durante as avaliações, entretanto, a experiência no andar independente era diferenciada. Essa característica é importante quando observamos

os resultados. É interessante notar que, mesmo organizadas em três grupos distintos pela experiência no andar independente, não foi possível verificar diferenças nos valores quantificados entre um grupo e outro, especialmente entre o grupo A e os demais. Isso porque, no grupo A as crianças não haviam adquirido o andar independente e durante as primeiras avaliações realizaram o andar com apoio.

Os primeiros movimentos dos bebês parecem não apresentar controle e coordenação quando observados qualitativamente, assumindo características de grande variabilidade. Assim é na aquisição do andar independente, no início do desenvolvimento do andar observam-se movimentos que aparentam não apresentar segurança e coordenação, com freqüentes quedas. Quando esse andar é avaliado quantitativamente através de métodos biomecânicos, observa-se um padrão de marcha altamente variável.

A variabilidade é uma característica inerente ao processo de desenvolvimento motor ([Hallemans et al, 2007](#)) e é muito importante, pois permite que a criança explore muitas possibilidades de solução frente a uma nova tarefa. A combinação da maturação neural com o crescimento físico é responsável por melhoras no controle postural, coordenação de movimentos e aumento da força muscular ([Hallemans et al, 2007](#)). Além disso, o impacto da ação da gravidade nos mecanismos de controle e os fatores ambientais são importantes na criação de novas oportunidades para a prática de uma nova habilidade.

O andar com apoio é um comportamento importante, pois permite à criança aprender sobre informações perceptuais do solo na posição vertical e, conseqüentemente fornece oportunidades para melhorar o controle postural e a

força muscular. No andar com apoio, os bebês procuram por estratégias de sucesso para coordenar e controlar os segmentos e tronco construindo uma base para o andar independente ([Haehl et al, 2000](#)).

2.4.1 Variáveis Discretas

Foram encontrados poucos estudos com crianças no início do andar independente, por isso, a comparação dos resultados ficou prejudicada. Entretanto, comparamos os nossos valores com estudos que utilizaram análise das FRS em crianças mais velhas e adultos.

[Stansfield](#) e colaboradores (2001) realizaram um estudo longitudinal com crianças saudáveis de cinco anos de idade. O objetivo foi avaliar a importância da idade e velocidade na caracterização das forças de reação do solo. A análise da componente vertical em velocidade auto-selecionada pela criança apontou valores médios para o primeiro pico da componente vertical entre 110% e 130% do peso corporal, valores entre 60% e 85% para o vale e valores entre 100% e 120% para o segundo pico. Os resultados deste estudo apontam semelhanças para o primeiro pico e vale da componente vertical, entretanto os valores para o segundo pico ficaram abaixo do peso corporal (Tabela 4). Esse é um dado importante, pois [Sutherland](#) (1997) já apontava que crianças nas idades de dois a sete anos apresentam valores abaixo do peso corporal no segundo pico da componente vertical.

Este resultado pode apontar que crianças na aquisição do andar independente não possuem uma fase de propulsão efetiva e que o período de três meses não foi suficiente para provocar mudanças nessa característica.

[Cowgill](#) e colaboradores (2010) realizaram um estudo transversal analisando as FRS em dez adultos com idades entre 18 e 35 anos e treze crianças separadas em dois grupos (um grupo de dez crianças com idades entre 1 e 3,9 anos e um grupo de três crianças com idades entre 4 e 8,9 anos). Como resultados, eles apontaram que a componente ântero-posterior apresentou padrões similares entre crianças e adultos. As magnitudes dessa componente no padrão maduro da marcha variam em torno de 20% do peso corporal tanto na frenagem quanto na propulsão ([Beck et al](#), 1981; [Takegami](#), 1992). No presente estudo estes valores estiveram entre 8% e 21% do PC para pico de frenação e valores entre 10% e 22% para o pico de propulsão (Tabela 4).

Não foram encontradas diferenças significativas nas magnitudes da componente ântero-posterior entre as avaliações e entre os grupos, porém, é possível observar uma grande variação nos resultados. Essa variação aponta que mesmo que alguns resultados alcancem magnitudes em torno de 20% do PC, o período do início do andar independente não apresenta um padrão regular de marcha e o período de três meses de avaliação não alterou esse parâmetro.

[Beck](#) e colaboradores (1981) relataram diminuição na amplitude do primeiro pico da componente vertical ($Fz1$) e na força anterior máxima da componente ântero-posterior ($Fz1$) quando comparadas crianças entre 1 e 3 anos e crianças entre 4 e 5 anos de idade. Neste estudo não foi encontrada diminuição nas magnitudes no período de avaliação.

[Takegami](#) (1992) verificou em estudos com crianças de 4 a 10 anos de idade uma diminuição no tempo de apoio com a idade até o primeiro pico da componente vertical ($Tz1$). Os valores para crianças com quatro anos de idade foram de 25% do

tempo total de apoio, enquanto que para crianças com dez anos de idade 21% do tempo total de apoio. Essa redução em Tz1 é considerada pelo autor como uma melhor capacidade para transferência de peso nas crianças com maior experiência do andar. Os valores encontrados para este estudo ficaram entre 21,2% e 32%, apontando grande variação no tempo de apoio até o primeiro pico (Tabela 5). Essa variação indica que crianças no período da marcha emergente encontram-se em aprimoramento da transferência de peso durante o andar.

2.4.2 Comportamento da curva

[Preis](#) e colaboradores (1997) examinaram o perfil maturacional dos parâmetros da marcha através da mensuração das forças de reação do solo. Os autores encontraram diferenças no padrão da curva da componente vertical em crianças com idade média de 19 meses, 38 meses e 63 meses. O padrão da componente vertical das crianças de 19 meses apresentou um baixo perfil de picos e vales com quase pressão idêntica no calcâneo, médiopé e dedos. O padrão da curva mudou gradualmente atingindo o formato característico de dois picos e vale nas crianças de 38 meses e ainda mais nas crianças de 63 meses de idade. Como conclusão, esses autores apontaram que aproximadamente aos dois anos de idade o padrão das curvas das FRS assemelha-se ao padrão adulto.

[Hallemans](#) e colaboradores (2006) analisaram longitudinalmente mudanças no controle mecânico da marcha de dez crianças durante os cinco primeiros meses de andar independente. Os autores afirmam que durante o início do andar independente, a componente vertical é irregular, oscilando em torno do peso corporal, gradualmente o típico padrão de dois picos torna-se evidente.

Todas as crianças avaliadas neste estudo apresentaram padrão similar das FRS representados nas figuras 2-7. Esse fato indica que o padrão de dois picos e vale apresentado pela componente vertical já pode ser visualizado no andar com apoio (sujeitos do grupo A). Assim como o padrão da curva é similar nos três grupos, as magnitudes não apresentaram diferenças. Entretanto, a diferença é qualitativamente relevante quando os valores das magnitudes das FRS deste estudo são comparados com os valores encontrados na literatura de trabalhos com adultos e crianças com idade superior a cinco anos.

2.4.3 Comportamento da variabilidade

O coeficiente de variação (CV) foi usado para determinar a variabilidade das forças de reação do solo inter e intra-grupos. O CV tem a vantagem de ser uma ferramenta simples de obter reprodutibilidade desse tipo de dados ([White et al, 1999](#)).

De acordo com [Lobo da Costa](#) (2000) uma análise do coeficiente de variação entre as tentativas individuais pode indicar diferenças que caracterizam mais globalmente as curvas dinâmicas entre os diferentes indivíduos. E, ainda, por se tratarem de grandezas biomecânicas de indivíduos não portadores de disfunções motoras ou ortopédicas, as diferenças entre os coeficientes de variação provavelmente refletem a variabilidade típica do comportamento motor humano, tomados os cuidados metodológicos para o controle dos erros.

Uma análise do coeficiente de variação para as curvas pode revelar características importantes na distinção entre um padrão adulto e infantil, uma vez

que os CVs refletem um aspecto mais global das respostas dinâmicas ([Lobo da Costa](#), 2000).

Os estudos de [Thelen](#) e Smith (1991) encorajam os pesquisadores a investigar a variabilidade em seus dados. Essas autoras afirmam que se os erros de concepção ou execução não são uma falha, os pesquisadores devem pensar dinamicamente e discutirem a variabilidade em seus dados.

Foram encontrados poucos estudos que utilizaram o mesmo cálculo do CV. Os trabalhos encontrados foram realizados com crianças acima de cinco anos de idade e adultos ([Lobo da Costa](#), 2000; [David](#), 2000; [Winter](#), 1991) e, por isso, a comparação dos nossos resultados ficou prejudicada.

[Winter](#) (1991) aponta que o CV para indivíduos adultos das forças verticais em cadência natural é de 18%, enquanto que para as forças horizontais é de 43%. Esses dados apresentados por [Winter](#) (1991) representam a variabilidade inter-sujeitos de indivíduos com padrão maduro de marcha.

[David](#) (2000) representa uma importante fonte de comparação com os dados aqui apresentados. A autora relatou coeficientes de variação inter-sujeitos para grandezas biomecânicas do andar em crianças entre seis e dez anos de idade categorizados em quatro grupos etários. Para as forças verticais, seus dados apresentaram um CV variando entre 9% e 17%. Para as forças ântero-posteriores, o CV variou entre 28% e 37%.

[Lobo da Costa](#) (2000) avaliou seis crianças com idade média de $6,5 \pm 0,6$ anos e encontrou valores do CV para o grupo variando entre 21,1% e 51,1% para a componente vertical e para a componente ântero-posterior valores entre 21,6 e 115%. A autora ainda comparou os valores apresentados pelas crianças com

valores apresentados por um indivíduo adulto. Os CVs das forças de reação do solo para o adulto foram significativamente menores daqueles apresentados pelas crianças.

Os valores apontados pela literatura estão abaixo dos resultados encontrados neste estudo, apesar de manterem a tendência de menores variabilidades para a componente vertical, comparada à horizontal ântero-posterior. Deve-se considerar que os estudos encontrados na literatura foram realizados com crianças de idade superior a cinco anos de idade e adultos.

2.5 Conclusões

Estudar a variabilidade foi o ponto principal desse estudo, e foi possível verificar altos valores do coeficiente de variação tanto para a componente vertical como para a componente ântero-posterior. Os resultados acima de 200% do coeficiente de variação para a componente ântero-posterior (Tabela 7) têm uma explicação matemática além das características biomecânicas no período da aquisição do andar independente. Quando examinamos o cálculo do CV, a raiz quadrada do desvio-padrão é dividida pela média, e a média nessa componente é muito pequena para as crianças estudadas. A média para as crianças desse estudo alcançam em torno de 10% a 15% do peso corporal. Por isso, quando temos valores pequenos para a média, o CV alcança valores altos.

Nós não acreditamos que os valores de CV encontrados para a componente ântero-posterior sejam erros de medida, mas sim uma característica da aquisição do andar independente. Entretanto, não encontramos estudos que utilizaram o cálculo

do CV a partir de [Winter](#) (1991) para análise da marcha em crianças de doze a quinze meses de idade. Por isso, estudos posteriores e longitudinais com crianças típicas devem ser realizados a fim de caracterizar qual é a variabilidade esperada nessa fase de aquisição do andar.

Quanto às modificações no padrão da marcha em diferentes velocidades a literatura aponta que as crianças podem variar a velocidade do andar de acordo com a idade e as condições laboratoriais. Também é possível afirmar que as crianças utilizam diferentes combinações de comprimento de passo e cadência para alcançar determinada velocidade.

Assim, assumimos que a velocidade do andar é um fator relevante que deve ser considerado na análise dos resultados.

A observação de grandes mudanças nas forças de reação do solo com a velocidade normalizada poderia indicar que qualquer mudança na velocidade entre os grupos etários, mesmo que pequena, poderia ter mascarado alguma mudança verdadeira relacionada à idade.

Esse trabalho levantou pontos importantes para um melhor entendimento da aquisição do andar independente. Novos trabalhos devem ser realizados a fim de se discutir mais sobre a variabilidade nesse período tão importante para o desenvolvimento motor dos seres humanos.

Por fim, a experiência adquirida na marcha pelas crianças deste estudo ao longo do intervalo de três meses não foi suficiente para provocar mudanças nas variáveis biomecânicas estudadas, picos de forças de reação e seus respectivos tempos, porém houve uma redução gradual dos coeficientes de variação das componentes vertical e ântero-posterior das forças de reação do solo. Podemos

admitir que esses resultados indicam que o aumento da capacidade de encontrar soluções dinâmicas progressivamente mais regulares e maduras deva se iniciar com o controle das demandas gravitacionais associadas à marcha.

Assim, mesmo não sendo possível verificar diferenças quantitativas, qualitativamente é possível afirmar que as crianças desse estudo, durante o período de três meses de avaliação, tornaram-se cada vez mais habilidosas. Acreditamos que esse fato é devido ao aprimoramento da capacidade para avaliar as condições do ambiente e agir adaptativamente. Ou seja, já no início do andar independente, a criança é capaz de encontrar soluções dinâmicas bem sucedidas a problemas motores e a variabilidade encontrada não é uma repetição de padrões de movimento, mas sim uma repetição do processo de solucionar um dado problema motor.

2.6 Limitações do Estudo

Esse estudo teve como objetivo estudar as mudanças que ocorrem quantitativamente em variáveis cinéticas durante a aquisição do andar independente. Todas as crianças avaliadas tinham a mesma idade cronológica durante as avaliações, porém, a experiência no andar independente era diferenciada. Esse fato é importante quando observamos os resultados. É interessante notar que, mesmo organizadas em três grupos distintos pela experiência no andar independente, não foi possível verificar diferenças nos valores quantificados entre um grupo e outro. É provável que o baixo número de sujeitos em

cada grupo de experiência com o andar tenha sido em grande parte responsável pela não observação de diferenças estatisticamente significativas entre os grupos.

O fato das crianças do grupo A ainda não terem andando independentemente pode ter sido causado por restrições impostas tanto pelo ambiente como pela tarefa. O organismo dessas crianças poderia já apresentar controle e coordenação suficientes para a aquisição da marcha independente, mas os estímulos externos não estavam sendo os mais apropriados.

Essa hipótese está embasada no acompanhamento das avaliações do sujeito cinco deste estudo. Essa criança somente realizou o andar independente na terceira avaliação quando apresentava idade cronológica de quinze meses. A criança chegou ao local da avaliação acompanhada pelo responsável que afirmava que a criança ainda não havia dado passos sem algum tipo de apoio. Durante a coleta, o avaliador realizou estímulos visuais com brinquedos para que a criança se sentisse atraída e caminhasse pela passarela. O responsável pela criança encontrava-se de um lado da passarela e o avaliador do outro. Após algumas tentativas do andar independente com freqüentes quedas, a criança conseguiu andar por todo o percurso da passarela sem precisar de apoio. A mãe relatou que foi a primeira vez que viu sua filha andar independentemente de qualquer apoio. Provavelmente, essa criança já possuía controle, coordenação e força suficientes para andar sem apoio, mas não havia recebido estímulos que a atraíssem para explorar a nova experiência de movimento.

Assim, a aquisição de uma habilidade envolve transferência organizacional entre os segmentos e sincronismos nas ações em relação às múltiplas restrições da tarefa, restrições individuais tais como experiência no movimento, assim como

restrições ambientais e, ainda, a aquisição de habilidades envolve o processo de explorar como os segmentos do corpo movem juntos em relação à demanda da tarefa ([Haehl](#) e colaboradores, 2000).

Medidas de força são difíceis de serem obtidas em crianças com menos de dois anos de idade. Uma das causas para essa dificuldade é que a criança tem dois passos consecutivos em uma mesma plataforma de força ([Sutherland](#), 1997).

Para cada avaliação foram necessários no mínimo a presença de três avaliadores. Um avaliador ficava responsável pela captura dos dados no computador conectado às plataformas de força, um segundo avaliador responsável pela identificação das tentativas válidas para a análise cinemática (Estudo II) e um terceiro avaliador responsável em entreter a criança para que ela caminhasse sobre as plataformas.

O laboratório foi arrumado de tal forma que a criança ficasse confortável e pudesse caminhar da forma mais natural possível. Entretanto, realizar pesquisas com essa faixa etária exige muitos cuidados para que os dados sejam fidedignos. Nós não restringimos a velocidade, permitimos que as crianças caminhassem em velocidade auto-selecionada. Essa característica do trabalho pode ter influenciado os dados. Entretanto, não sabemos se a imposição da velocidade com essas crianças no início do andar independente provocaria mudanças no padrão da marcha, o que poderia ser interessante de ser investigado.

3 OBSERVAÇÕES

Após concluir as coletas de dados, uma dúvida surgiu. Qual a melhor maneira de analisar os resultados? Foram avaliadas dez crianças longitudinalmente por um período de três meses. As crianças possuíam a mesma idade cronológica nas avaliações, entretanto apresentavam experiências no andar independente diferenciadas.

No primeiro momento, nós avaliamos todas as crianças em um único grupo, de acordo com a idade cronológica. Assim, na primeira avaliação as crianças tinham treze meses de idade, na segunda avaliação tinham quatorze meses e na terceira avaliação tinham quinze meses de idade. Estatisticamente, utilizamos o teste não-paramétrico ANOVA de Friedman para verificar diferenças nas variáveis discretas entre as avaliações. O nível de significância foi fixado em 5%. Foi calculada a média (desvio padrão) do coeficiente de variação das dez crianças nas três avaliações. Os dados médios (desvio-padrão) das variáveis discretas e dos coeficientes de variação estão apresentados no Apêndice A.

Não foram encontradas diferenças nas variáveis discretas. No coeficiente de variação, houve redução na componente vertical das FRS da primeira para segunda e da segunda para a terceira avaliação. Para a componente ântero-posterior, foram encontrados altos valores do CV e houve oscilação dos valores entre 220% a 248%.

Como não encontramos diferenças nessa avaliação, optamos, por sugestão da banca de qualificação reagrupar os participantes pela experiência no andar independente e não mais pela idade cronológica. Entretanto, novamente não encontramos diferenças na análise das variáveis discretas, provavelmente pela

influência do pequeno número de crianças que passaram a compor 3 grupos independentes, classificados de acordo com a experiência com o andar independente. Nos três grupos (A, B e C) os valores para a componente vertical ficaram entre 54% e 70% (tabela 4) e na avaliação com todas as crianças em único grupo os valores encontrados ficaram entre 53% e 71% (Apêndice A). Para a componente ântero-posterior, pôde-se observar a mesma característica. Nos grupos A, B e C os valores encontrados ficaram entre 225% e 287% (tabela 5) e na avaliação com todas as crianças em único grupo os valores ficaram entre 220% e 248% (Apêndice A).

Optamos por apresentar os resultados dos participantes agrupados de acordo com a experiência no andar independente, por acreditarmos que essa seja a melhor forma de análise, já que, nesse caso, a comparação é feita com crianças que podem ser consideradas homogêneas quanto ao nível de desenvolvimento do andar.

4 ESTUDO II

VARIÁVEIS CINEMÁTICAS NOS PRIMEIROS MESES DA AQUISIÇÃO DO ANDAR INDEPENDENTE

4.1 Introdução

A marcha humana é uma forma exclusiva de locomoção, apresenta eficiência e funcionalidade únicas. Por ser bípede, permite que os seres humanos utilizem as mãos como ferramentas. Esse tipo locomoção acontece através de eventos cíclicos que determinam o ciclo da marcha ([Perry](#), 2005).

Um ciclo da marcha é definido como um intervalo de tempo durante o qual uma seqüência de eventos sucessivos e regulares se completa. ([Sutherland et al.](#), 1998). Esse ciclo é dividido em duas fases: fase de apoio (quando o pé está em contato com o solo) e fase de balanço (quando o pé não está em contato com o solo).

A fase de apoio corresponde a 62% de todo o ciclo da marcha e é subdividido em duplo apoio inicial, apoio simples e segundo apoio duplo. O duplo apoio inicial condiz com o início da marcha e é o momento em que os dois pés encontram-se no solo. O apoio simples inicia-se quando o pé oposto encontra-se em balanço. O segundo apoio duplo é o toque do pé contralateral (pé que estava em balanço) e o desprendimento do pé (que estava na fase de apoio) para o balanço ([Sutherland et al.](#), 1998).

A fase de balanço corresponde aos 38% restantes do ciclo de marcha. Essa fase é subdividida em balanço inicial, balanço médio e balanço terminal. O balanço

inicial é o desprendimento do pé do solo. O balanço médio é a passagem do pé em balanço até a perna estar na vertical (momento em que a tíbia do membro em balanço encontrar-se perpendicular ao solo). E, o balanço terminal corresponde ao toque no solo do membro em balanço ([Sutherland et al, 1998](#)).

No início do andar independente, o padrão é caracterizado por movimentos irregulares, pouco estáveis e os movimentos dos membros inferiores não são acompanhados por movimentos alternados e recíprocos dos membros superiores. Pode-se compreender o início do desenvolvimento da marcha independente como um processo que não se deve apenas à maturação neurológica, mas também a um sistema auto-organizado que aprende a integrar as demandas que envolvem a tarefa, o ambiente e o indivíduo. Nesse contexto, o desenvolvimento motor é entendido como um processo dinâmico no qual um comportamento motor emerge de restrições internas e externas. Restrições são fatores que influenciam ou delineiam a realização de movimentos (Thelen, 1992).

Pesquisadores têm descrito detalhadamente parâmetros espaço-temporais e ângulos articulares da marcha infantil ([Hallemans et al, 2006](#); [Grimshaw et al, 1998](#); [Marques-Bruna et al, 2000](#); [Bril & Brenière, 1993](#); [Hallemans et al, 2005](#)). Mudanças importantes foram encontradas nos parâmetros cinemáticos da marcha dentro de poucos meses após o início do andar independente, sugerindo importantes mudanças no controle motor ([Hallemans et al, 2006](#)).

Entretanto, além de [Hallemans](#) e colaboradores (2006) [Bril & Brenière](#) (1993) atualmente ainda são poucos os estudos que realizaram avaliações longitudinais no primeiro período de aquisição do andar independente, com acompanhamento contínuo em intervalos curtos de tempo, como o que pode ser feito mês a mês.

Assim, o objetivo deste estudo foi verificar e descrever as mudanças que ocorrem durante os primeiros meses de aquisição do andar em variáveis espaço-temporais e cinemáticas angulares para membros inferiores no plano sagital unilateralmente. Nosso foco de estudo esteve nos primeiros 4-5 meses de experiência do andar independente que compõem a chamada fase de transição. Nessa fase o bebê aprende a coordenar sua postura na posição vertical e o movimento dos segmentos corporais em progressão para a frente ([Bril & Brenière, 1992](#)) e importantes mudanças observadas e descritas qualitativamente podem provavelmente ser quantitativas através de métodos biomecânicos.

4.2 Materiais e Métodos

4.2.1 Sujeitos

Os participantes desse estudo são os mesmos apresentados no Estudo I, mas um sujeito foi excluído por erros ocorridos durante a gravação das imagens em vídeo.

Foram convidados a participar do estudo os responsáveis por 62 crianças no total. Em razão de recusa ou não adequação dos critérios de inclusão apenas os responsáveis por 14 crianças compareceram na primeira avaliação. Apenas 9 crianças concluíram o estudo. Foram descartados os dados de duas crianças por falta em uma das avaliações, de duas crianças por chorar durante as coletas de dados e de uma criança por erros durante a filmagem.

As nove crianças participantes do estudo eram nascidas a termo ($39,6 \pm 1,0$ semanas), com peso ao nascer superior a 2,500 g ($3,400 \pm 386$ gramas), sem qualquer tipo de comprometimento neuro-músculo-esquelético (Apêndice B). A tabela 8 apresenta as características dos sujeitos.

Tabela 8 - Características dos sujeitos – ESTUDO II

Sujeito	Sexo	Gestação (semanas)	Massa ao nascimento (g)	Primeiros passos (meses)	Massa na 1^a avaliação (Kg)	Estatura ao nascimento (cm)
1	Feminino	40	3,610	12	10,5	49,5
2	Feminino	40	4,190	13	12,5	51,0
3	Masculino	40	3,430	13	10,0	49,0
4	Feminino	40	3,290	15	11,0	48,0
5	Masculino	40	3,620	11	13,0	40,0
6	Masculino	40	3,130	10	11,0	50,0
7	Masculino	38	2,995	11	10,0	49,0
8	Masculino	41	3,415	12	11,0	49,0
9	Feminino	38	2,920	12	10,0	46,5

4.2.2 Instrumentos e Procedimentos

Após o contato telefônico com o responsável pela criança foi agendada uma visita no Núcleo de Análise do Movimento localizado no Departamento de Educação Física e Motricidade Humana na UFSCar. Antes do início da coleta de dados, os avaliadores realizavam uma familiarização da criança com o ambiente laboratorial.

Os responsáveis pelas crianças foram informados sobre a proposta e relevância do estudo e, uma vez esclarecidos, preencheram e assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice D). Foi aplicado um questionário de anamnese no início da primeira avaliação (Apêndice E). O projeto foi aprovado e protocolado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (Nº13/2010).

Durante a coleta, a criança permaneceu vestida apenas com um short preto de lycra. Foram retiradas medidas antropométricas como massa corporal (quilogramas), altura (centímetros) e comprimento dos membros inferiores (distância entre espinha ilíaca ântero-superior e maléolo medial).

Esse estudo teve caráter longitudinal. Durante os primeiros meses do andar independente todas as crianças foram avaliadas três vezes em um intervalo de um mês entre as avaliações. Foram coletados dados antropométricos de cada criança e em cada avaliação (Apêndice C). Na primeira avaliação as crianças apresentavam idade cronológica de 13 meses. Diferente do Estudo I, as crianças não foram agrupadas de acordo com a experiência do andar independente. Apesar de termos conhecimento da importância de agrupar as crianças de acordo com a experiência do andar independente e não com a idade cronológica, o número de crianças participantes foi pequeno e agrupá-las tornaria ainda menor o número de sujeitos. Por isso, optamos por realizar a avaliação com um único grupo de nove crianças, apresentando 13 meses de idade na primeira, 14 meses na segunda e 15 na terceira avaliação. Foi estipulado um intervalo máximo, anterior ou posterior, de uma semana da data de aniversário mensal.

Para a análise do padrão cinemático da marcha emergente foi utilizado quatro câmeras digitais (Panasonic, modelo AG-DVC), com frequência de aquisição de 60Hz posicionadas de acordo com a Figura 8.

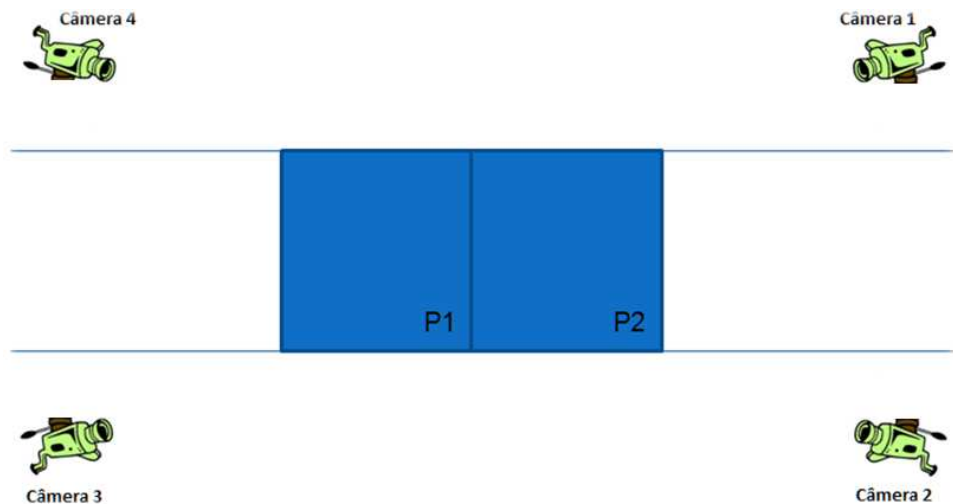


Figura 8 - Desenho esquemático do posicionamento das câmeras e da passarela

Ao lado de cada câmera foram posicionados holofotes. As tentativas foram sincronizadas por meio de disparos de luz de *flash* localizados no centro da passarela. Antes do início de cada coleta de dados foi realizada a calibração das imagens com o espaço tridimensional utilizando um objeto de (40 x 141 x 75 cm) constituído de sete fios de prumo e 42 marcadores refletivos como mostrado na Figura 9.

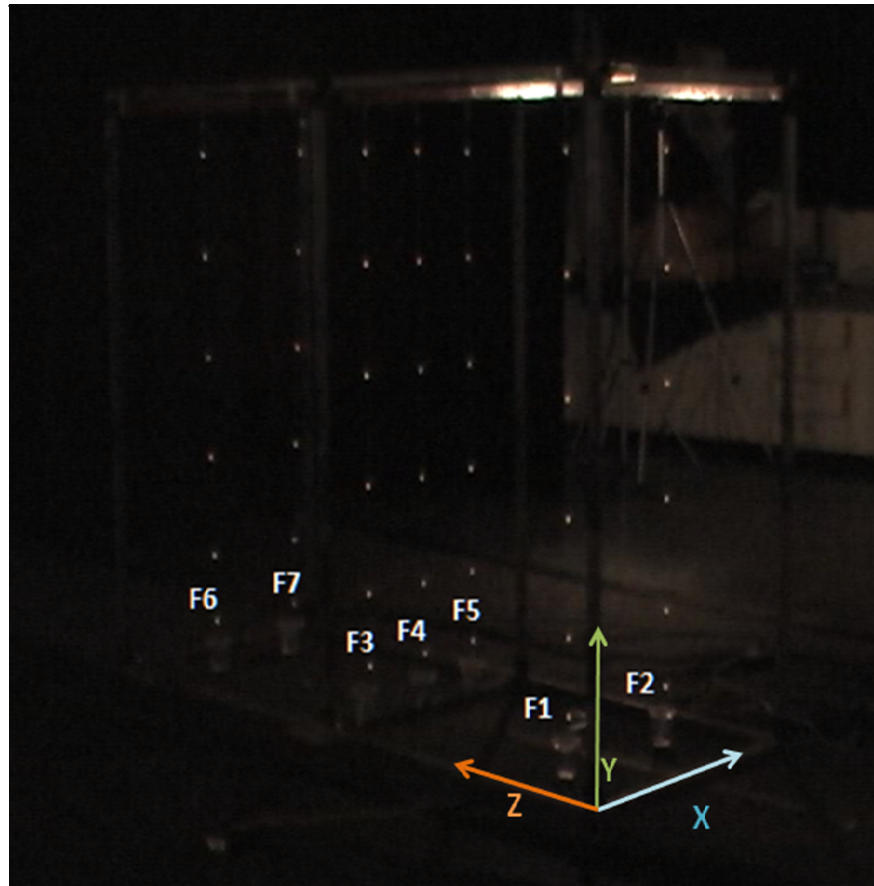


Figura 9 - Foto ambiente do laboratório com o volume usado para de calibração das imagens

Foram coletadas de três a sete tentativas válidas para cada criança em cada avaliação. A tentativa foi considerada válida quando a criança andava pela passarela sem interrupções.

Em cada avaliação foram fixados marcadores refletivos de 10 mm de diâmetro com fita dupla face sobre a pele das crianças em pontos anatômicos pré-estabelecidos (quinto metatarso, calcâneo, maléolo lateral, linha articular do joelho, trocânter maior do fêmur e acrômio) com o objetivo de delimitar os segmentos para referência nas análises das imagens (Figura 10).

Para o início da coleta dos ciclos da marcha, a criança era posicionada no centro da passarela em postura ereta e com os pés alinhados por dez segundos para obtenção da posição neutra dos segmentos (Figura 10).



Figura 10 - Imagem da criança em posição neutra

Após a obtenção da postura estática, a avaliação da marcha foi realizada. A criança era estimulada pelos responsáveis e pelo avaliador a andar sobre um tapete plano e regular de 5 metros de comprimento. Em cada avaliação a criança foi solicitada a andar pelo espaço definido no mínimo três vezes (Figura 11).



Figura 11 - Imagem de vídeo de uma tentativa da marcha

Quando a criança não andava independentemente, foi oferecido apoio pelo avaliador. Esse apoio dado foi para as mãos das crianças, que mantinham seus braços elevados acima da cabeça (Figura 12). A duração de cada sessão de coleta de dados foi de aproximadamente 40 minutos.



Figura 12 - Imagem de vídeo de uma tentativa da marcha com apoio

4.2.3 Processamento dos dados

Os marcadores foram rastreados através do *software* de videogrametria *Dvideow 5.0 (Digital video for biomechanics for Windows)* ([Barros et al, 1999](#)). As matrizes tridimensionais reais dos marcadores registrados em função do tempo foram obtidas através da transformação linear-direta (DLT) ([Abdel-aziz](#) e Karara, 1971).

A análise dos dados foi realizada utilizando-se o programa Matlab (Mathworks, Inc, 2009). Os dados brutos foram filtrados com um filtro passa baixa (Butterworth) de 4ª ordem, com frequência de corte de 7 Hz. Após isso, o programa *Origin 8.1* foi utilizado para verificar pontos discretos máximos e mínimos alcançados nas curvas, interpolar as tentativas e criar gráficos dos deslocamentos angulares.

Foi selecionada para análise em cada tentativa válida uma passada intermediária completa (dois toques consecutivos do mesmo pé no solo). Os trechos selecionados foram do membro inferior direito e recortados através do programa *VirtualDub 1.9.9*.

Com o *software Dvideow 5.0* os eventos do ciclo da marcha foram definidos visualmente pela trajetória dos marcadores do calcâneo e do 5º metatarso. Os gráficos representativos do deslocamento dos marcadores no eixo Z (ântero-posterior) foram utilizados para garantir a identificação dos eventos de forma correta, visualizando as imagens, quadro a quadro.

Os eventos foram definidos da seguinte forma:

1ºTPI: (toque do pé ipsilateral) toque de qualquer parte do pé direito ao solo

RPC: retirada do pé contralateral

TPC: toque do pé contralateral;

RPI: retirada do pé ipsilateral

2ºTPI: segundo toque do pé ipsilateral

4.2.4 Variáveis definidas para análise

As variáveis espaço-temporais escolhidas para a análise foram o comprimento da passada, a duração da passada, a velocidade de deslocamento, a cadência, duração das fases de apoio, duplo apoio 1, duplo apoio 2 e de balanço.

O cálculo foi realizado com base nos eventos (1ºTPI, RPC, TPC, RPI e 2ºTPI) e são explicados a seguir:

Comprimento da passada (m): calculada pela diferença entre o segundo toque do ipsilateral (2ºTPI) - e o primeiro toque do pé ipsilateral (1ºTPI).

Duração da passada (s): calculada pela diferença temporal entre os dois toques consecutivos do pé ipsilateral.

Velocidade de deslocamento (m/s): calculada pela divisão do comprimento da passada pela duração da passada.

Cadência (passos / min): frequência da passada multiplicada por 120, sendo que a frequência da passada é igual a 1 dividido pela duração da passada.

Duração da fase de apoio (s): diferença temporal entre retirada do pé ipsilateral e o primeiro toque do pé ipsilateral.

Duração da fase de apoio duplo 1 (s): diferença temporal entre os eventos retirada dos pé contralateral e toque do pé ipsilateral.

Duração da fase de apoio duplo 1 (s): diferença temporal entre retirada do pé ipsilateral e toque do pé contralateral.

Duração da fase de balanço (s): diferença temporal entre retirada do pé ipsilateral e o segundo toque do pé ipsilateral.

Porcentagem de apoio: porcentagem do ciclo em apoio.

Porcentagem de balanço: porcentagem do ciclo em balanço.

Os deslocamentos angulares mínimos, máximos e médios (em graus) das articulações do tornozelo, joelho e quadril foram calculados no plano sagital (Figura 13):



Figura 13 - Representação esquemática dos ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril

Assim, foi considerado ângulo de joelho a projeção do ângulo formado entre os segmentos coxa e perna. Para o ângulo de tornozelo, foi considerada a projeção

do ângulo formado entre os segmentos perna e pé e para o quadril a projeção do ângulo formado entre os segmentos tronco e coxa.

Pontos discretos alcançados pelos deslocamentos angulares articulares foram selecionados para análise estatística (Figura 14):

T1: Máxima dorsiflexão do tornozelo.

T2: Máxima flexão plantar do tornozelo.

J1: Máxima flexão do joelho após o contato do pé com o solo.

J2: Máxima extensão do joelho na fase de apoio.

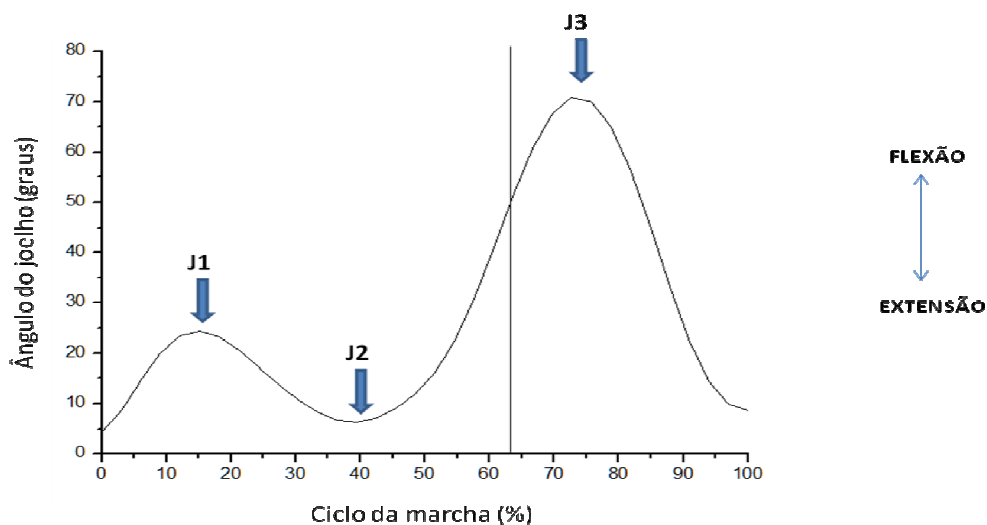
J3: Máxima flexão do joelho na fase de balanço.

Q1: Máxima flexão do quadril na fase de apoio.

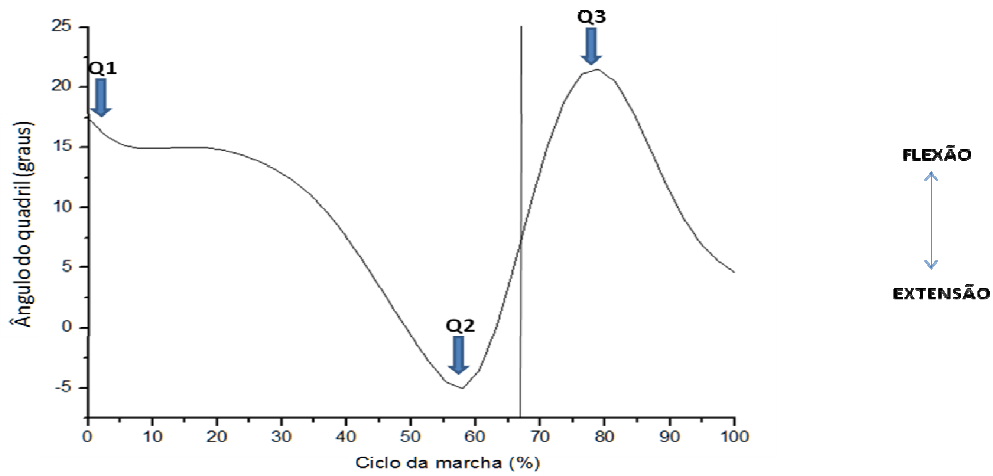
Q2: Máxima extensão do quadril na fase de apoio.

Q3: Máxima flexão do quadril na fase de balanço.

a)



b)



c)

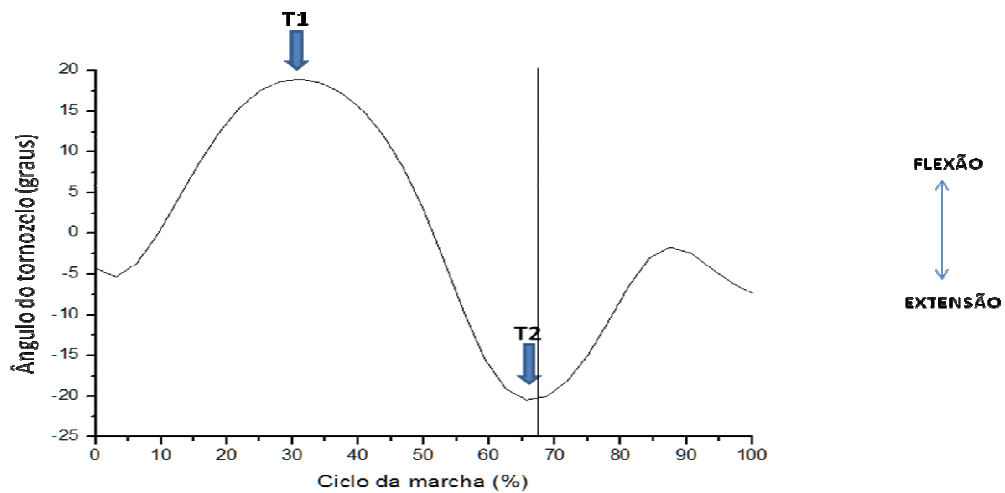


Figura 14: Variáveis discretas selecionadas para análise dos deslocamentos angulares do plano sagital para o joelho (a), o quadril (b) e tornozelo (c). A linha vertical sinaliza o final da fase de apoio e o início da fase de balanço no ciclo da marcha

Os deslocamentos angulares representados na Figura 14 seguem os seguintes sinais para interpretação:

Joelho: valores aumentam para flexão e diminuem para extensão.

Quadril: valores aumentam para flexão e diminuem para extensão.

Tornozelo: valores positivos para dorsiflexão e valores negativos para flexão plantar.

4.2.5 Análise Estatística

Para verificar diferenças significativas entre as três avaliações foi realizada uma análise de medidas repetidas não paramétrica ANOVA de Friedman. O software *STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCE* (SPSS) – versão 17 foi utilizado para análise e o nível de significância foi fixado em $p \leq 0,05$.

4.3 Resultados

4.3.1 Parâmetros Espaço-Temporais

A Tabela 9 apresenta os valores médios e desvios-padrão das variáveis espaço-temporais analisadas nas três avaliações.

Tabela 9 - Valores médios (desvios-padrão) dos parâmetros espaço-temporais analisados no decorrer das três avaliações

VARIÁVEIS	AVALIAÇÃO 1	AVALIAÇÃO 2	AVALIAÇÃO 3	<i>p</i>
Comprimento da passada (m)	0,45 (±0,08)	0,48 (±0,09)	0,49 (±0,09)	0,70
Duração da passada (s)	0,73 (±0,09)	0,65 (±0,09)	0,64 (±0,10)	0,20
Velocidade (m/s)	0,59 (±0,17)	0,74 (±0,20)	0,74 (±0,20)	0,33
Cadência (passos/min)	155 (±24)	179 (±36)	180 (±38)	0,07
Duração da fase de apoio (s)	0,50 (±0,10)	0,46 (±0,14)	0,45 (±0,11)	0,32
Duração da fase de balanço (s)	0,27 (±0,09)	0,22 (±0,02)	0,23 (±0,05)	0,06
Duração do apoio duplo 1 (s)	0,11 (±0,01)	0,07 (±0,03)	0,08 (±0,02)	0,20
Duração do apoio simples (s)	0,32 (±0,08)	0,28 (±0,03)	0,27 (±0,03)	0,40
Duração do apoio duplo 2 (s)	0,14(±0,01)	0,11 (±0,08)	0,10 (±0,09)	0,50
Apoio (% do ciclo da marcha)	64,6 (±3,9)	66,3 (±6,6)	63,2 (±3,50)	0,32
Balanço (% do ciclo da marcha)	35,5 (±4,0)	33,6 (±6,6)	36,6 (±3,50)	0,32

Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) em nenhuma das variáveis, mostrado pelo valor de *p*.

Qualitativamente o comprimento da passada, a velocidade e cadência aumentaram entre as avaliações. A duração da passada diminuiu com o aumento da idade das crianças nas três avaliações. A porcentagem da fase de apoio foi menor na terceira avaliação, assim como os valores para a duração da fase de apoio também diminuiram da primeira para segunda e da segunda para terceira avaliação.

4.3.2 Ângulos articulares

A Tabela 10 apresenta os valores médios e desvios-padrão das variáveis selecionadas dos ângulos articulares analisados nas três avaliações.

Tabela 10 - Valores médios (desvios-padrão) das variáveis selecionadas dos ângulos articulares do tornozelo, joelho e quadril

ÂNGULOS ARTICULARES	AVALIAÇÃO 1	AVALIAÇÃO 2	AVALIAÇÃO 3	<i>p</i>
T1 (°)	15,9 (±7,2)	10,0 (±3,8)	13,2 (±7,0)	0,72
T2 (°)	-12,6 (±6,0)	-18,7 (±7,4)	-19,7 (±11,1)	0,20
J1 (°)	10,8 (±4,7)	11,2 (±3,1)	14,5 (±4,7)	0,49
J2 (°)	3,5 (±4,0)	3,7 (±3,9)	3,6 (±4,0)	0,90
J3 (°)	64,1 (±5,3)	63,8 (±7,2)	64,4 (±6,9)	0,70
Q1 (°)	18,9 (±3,7)	16,8 (±4,7)	16,2 (±5,9)	0,40
Q2 (°)	-2,40 (±2,5)	-3,50 (±2,7)	-1,60 (±4,6)	0,15
Q3 (°)	27,2 (±6,5)	30,9 (±9,4)	24,4 (±6,1)	0,09

Assim como nas variáveis espaço-temporais, nos ângulos articulares também não foram encontradas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) em nenhuma das variáveis, mostrado pelo valor de *p*.

Podemos ressaltar algumas características dos resultados encontrados. Os valores para dorsiflexão (T1) e flexão plantar (T2) estão de acordo com os valores encontrados na literatura ([Hallemans et al, 2006](#); [Sutherland, 1997](#)).

Foram encontrados valores baixos para flexão do quadril na fase de balanço (Q3). As crianças iniciaram o apoio com o quadril flexionado (Q1) em média $18,9^\circ$ para a primeira avaliação, $16,8^\circ$ para a segunda e $16,2^\circ$ para a terceira e apresentaram hiperextensão (Q2) com valores negativos médios entre $1,6^\circ$ e $3,5^\circ$ entre as avaliações. A flexão máxima do quadril (Q3) durante a fase de balanço alcançou valores de $27,2^\circ$ na primeira, $30,9^\circ$ na segunda e $24,4^\circ$ na terceira avaliação.

Houve aumento qualitativo no decorrer das avaliações na primeira onda de flexão do joelho (J1). O valor médio para a primeira avaliação foi de $10,8^\circ$, enquanto para a terceira avaliação o valor médio encontrado foi de $14,5^\circ$.

Ainda na curva da flexão do joelho durante o apoio (J1) duas crianças (sujeitos 1 e 5) não apresentaram o primeiro pico de flexão do joelho na primeira avaliação. O padrão do deslocamento angular para as três avaliações dessas duas crianças em particular é mostrado na figura (15):

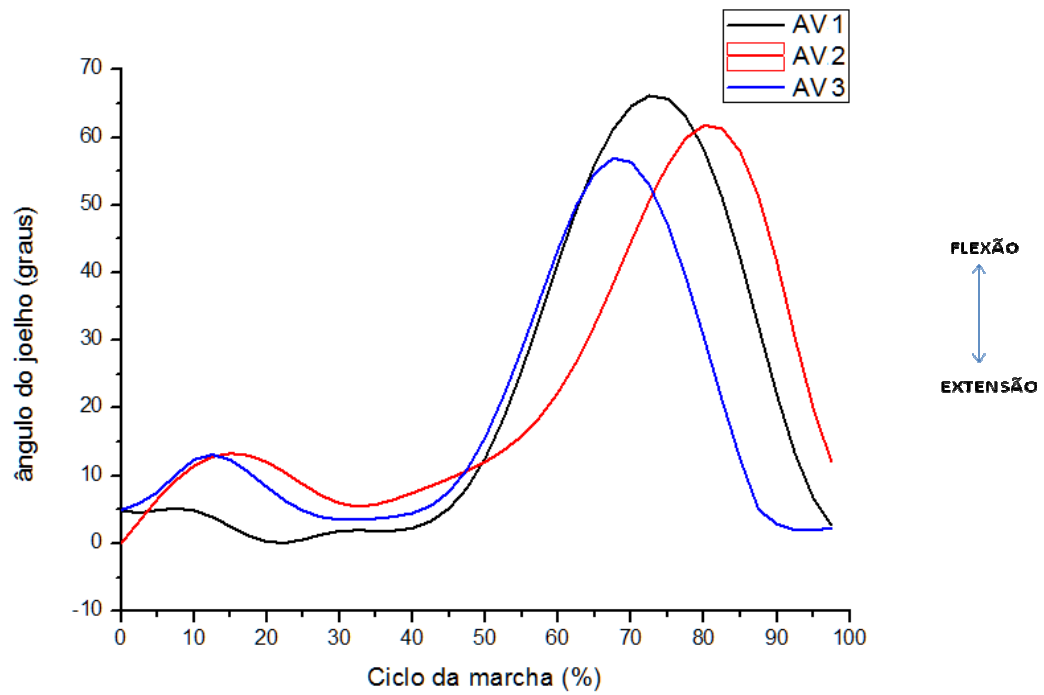
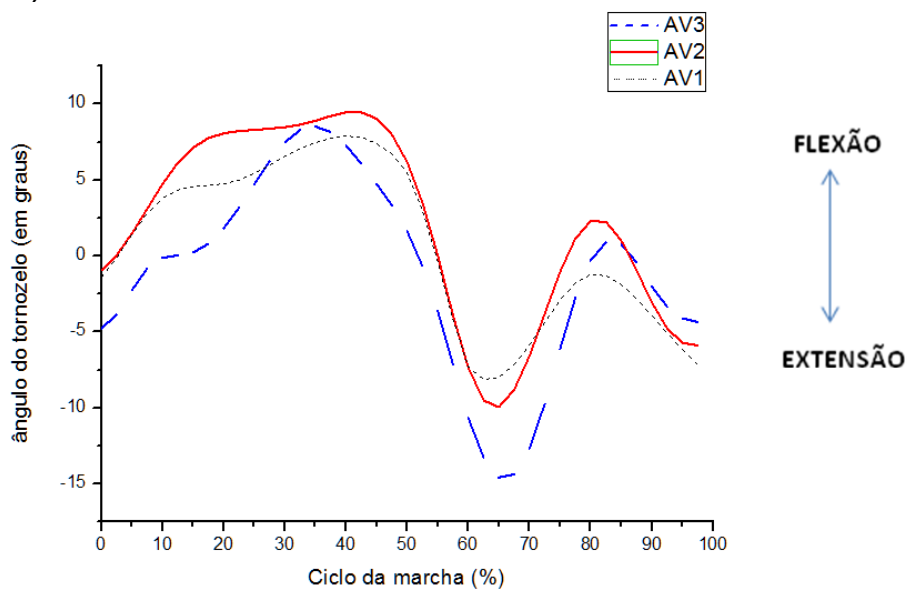


Figura 15: Deslocamento angular médio do joelho durante o ciclo da marcha dos sujeitos 1 e 5.

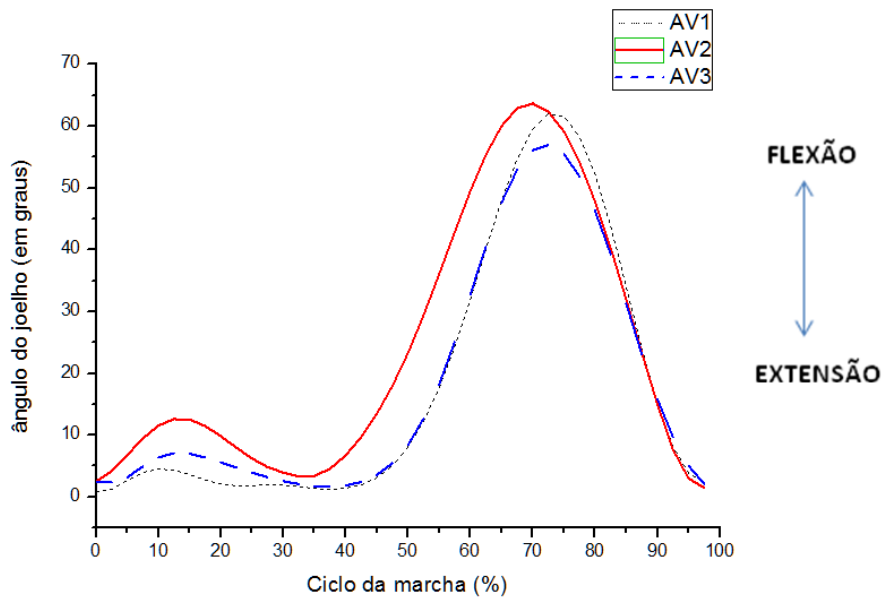
4.3.3 Análise Qualitativa do Deslocamento Angular

A figura 16 mostra o deslocamento angular médio do tornozelo, joelho e quadril de todas as crianças analisadas ao longo das três avaliações.

a)



b)



c)

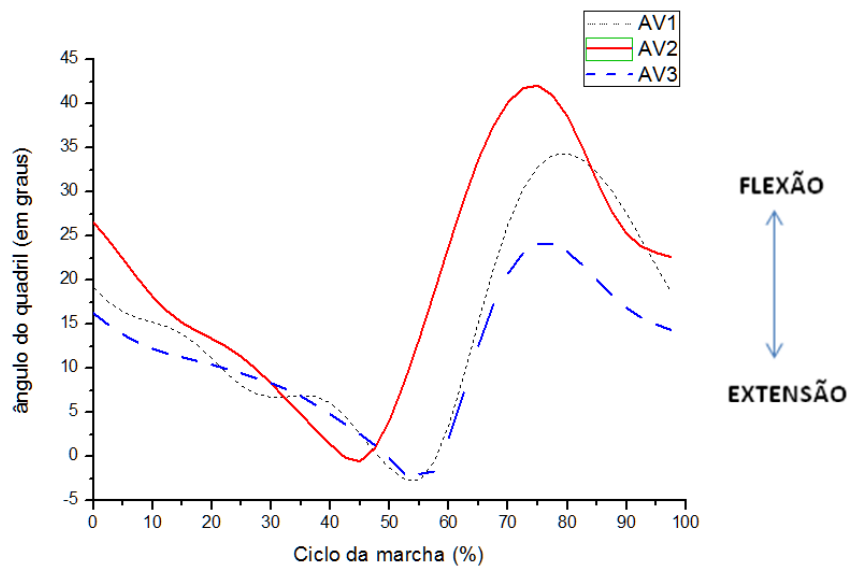


Figura 16: Valores médios para primeira (AV1), segunda (AV2) e terceira avaliação (AV3) dos deslocamentos angulares durante o ciclo da marcha (%). (a) tornozelo, (b) joelho, (c) quadril. Valores positivos indicam dorsiflexão do tornozelo e flexão do joelho e quadril. Valores negativos indicam flexão plantar do tornozelo e extensão do joelho e quadril

Todas as crianças apresentaram o padrão esperado, quando este foi comparado com o padrão adulto citado na literatura ([Sutherland et al, 1998](#)).

No tornozelo, é possível observar a ausência do primeiro rolamento que ocorre entre o toque do pé (TPI) e o despreendimento do pé oposto (RPC) nas três avaliações. As crianças tocam o pé no solo já inicializando a dorsi-flexão e não realizam a flexão plantar até atingir o contato total do pé, o que caracterizaria o primeiro rolamento.

O deslocamento angular do joelho demonstrou aumento qualitativo do primeiro pico de flexão durante o apoio com o aumento da experiência do andar independente

O movimento do quadril diferiu em parte do padrão maduro, com a diferença de que as crianças apresentaram menores graus de hiperextensão no período final da fase de apoio (Q2).

4.4 Discussão

4.4.1 Parâmetros Espaço-Temporais

As mudanças nos parâmetros espaço-temporais entre as avaliações não foram estatisticamente significativas. Qualitativamente, o comprimento da passada e a velocidade aumentaram, enquanto que a duração da passada diminuiu com as avaliações.

[Chester](#) e colaboradores (2006) realizaram um estudo transversal e compararam variáveis cinemáticas entre grupos de crianças de diferentes idades. Foram avaliadas quarenta e sete crianças de idades entre três e treze anos agrupadas de acordo com a idade: grupo de crianças com idades entre 3 e 4 anos (13 crianças), grupo com crianças de 5 e 6 anos de idade (10 crianças), grupo com

crianças de 7 e 8 anos de idade (12 crianças) e grupo de crianças com 9 e 13 anos de idade (12 crianças). O tempo do ciclo da marcha e a velocidade foram significativamente menores para os grupos das crianças mais jovens (3 e 4 anos), enquanto que os valores para cadência foram significativamente maiores nesse mesmo grupo. Os autores sugerem que as diferenças nos parâmetros espaço-temporais foram devidas às diferenças na proporção corporal e nas estratégias do andar utilizadas.

[Haehl](#) e colaboradores (2000) afirmam que o andar com apoio é uma das soluções descobertas a curto prazo para locomoção pelos bebês e que precede o andar independente. Quando as crianças andam com apoio, elas estabilizam o tronco através do apoio recebido nos braços. Ligações múltiplas biomecânicas são criadas entre os músculos e articulações na cintura escapular, coluna vertebral e pelve, estabilizadas pelos movimentos entre braços e tronco, tronco e pelve, e entre pelve e membros inferiores. Assim, quando as crianças descobrem soluções mais efetivas para controlar e coordenar seus corpos, elas reduzem o uso dos braços no apoio para a marcha ([Haehl et al, 2000](#)). Pode-se dizer, então, que no início do andar independente as crianças têm controle e coordenação suficientes do tronco e pelve para permitir transferências do corpo no eixo médio-lateral, propulsão para frente e estabilidade para fase de balanço.

Na marcha emergente, as crianças caminham com baixa velocidade, alta cadência, larga base de apoio e passos curtos ([Hallemans et al, 2005](#)). [Hallemans](#) e colaboradores (2006) apontam que ocorre aumento na velocidade e no comprimento da passada com o aumento da idade e diminuição no tempo de apoio duplo. Assim, apesar de nossos resultados não apresentarem diferenças significativas entre as avaliações, os dados gerais coincidem com a literatura.

Quanto à cadência, a literatura apresenta dados com resultados diferentes. [Hallemans](#) e colaboradores (2006) e [Sutherland](#) e colaboradores (1997) apresentam em seus estudos diminuição da cadência com o aumento da idade. Os autores [Bril e Brenière](#) (1993) realizaram um estudo longitudinal sobre postura e locomoção independente com cinco crianças durante quatro anos e encontraram um perfil interessante para a variável cadência. Os primeiros dois meses de andar independente, as crianças apresentaram aumento na cadência de passos e após esse período diminuição com o aumento da experiência.

Nossos resultados apontaram aumento qualitativo da cadência entre as avaliações. Esses resultados estão de acordo com os autores Bril e Brenière (1993).

A velocidade de deslocamento é uma variável que aumenta rapidamente até os 3,5 – 4 anos de idade, enquanto que a cadência diminui. Nossos resultados diferem da literatura ([Hallemans et al](#), 2006; [Sutherland](#), 1997), houve aumento qualitativo na variável velocidade com o decorrer das avaliações. Essa ocorrência pode estar relacionada com o fato de não manipularmos a velocidade das crianças. Pode ser que algumas crianças sentiram-se mais motivadas e realizaram o percurso com maior velocidade, enquanto outras realizaram o percurso mais lentamente. Portanto, essa variável necessita de atenção especial durante as coletas de dados.

É claro na literatura que as variáveis espaço-temporais estão altamente relacionadas com o crescimento músculo-esquelético ([Sutherland](#), 1997). O fato da cadência aumentar e não diminuir ao longo do período, mesmo que esta seja apenas uma observação qualitativa, levou-nos a buscar uma explicação.

Matematicamente a cadência é o valor da frequência multiplicado por 120, sendo que frequência é igual a 1 dividido pela duração da passada. Analisando

todas as tentativas de todas as crianças participantes, percebemos que as crianças apresentaram diminuição na duração da passada. As variáveis “duração da passada” e “frequência” são inversamente proporcionais, portanto quando ocorre diminuição no tempo da passada, ocorre aumento da frequência de passos e conseqüentemente aumento na cadência. As velocidades de deslocamento das crianças não foram controladas e isso pode ter influenciado os resultados. Algumas crianças, por razões não aparentes, se sentiram mais motivadas em certas avaliações e aumentaram a velocidade, reduzindo o tempo da passada, o que conseqüentemente alterou os valores médios da cadência.

4.4.2 Ângulos articulares

4.4.2.1 Joelho

A principal alteração na curva flexão/extensão do joelho com o aumento da idade é o desenvolvimento gradual da primeira onda de flexão no início da fase de apoio. Essa primeira onda de flexão é provocada pelo momento externo criado pela resultante da força de reação do solo que flexiona o joelho e em resposta ocorre uma ação excêntrica do quadríceps para produzir uma extensão e, assim, criar uma absorção de choque quando pé toca o solo ([Sutherland, 1997](#)).

A primeira onda de flexão está presente no início do andar independente, mas de acordo com [Sutherland](#) (1988) ela não se encontra muito bem desenvolvida antes dos quatro anos de idade.

Em alguns de nossos resultados a primeira onda de flexão está ausente na primeira avaliação (Figura 17). Outros autores também encontraram esses mesmos resultados em seus estudos quando avaliaram crianças de 10 a 24 meses de idade ([Grimshaw et al, 1998](#), [Hallemans et al, 2006](#)).

[Hallemans](#) e colaboradores (2006) apontam aumento significativo na primeira onda de flexão de joelho no terceiro mês de andar independente, sugerindo já haver uma rápida maturação nesse componente da marcha nessa fase.

Em nosso trabalho, algumas crianças já apresentaram a primeira onda de flexão na primeira avaliação (13 meses), enquanto outras não. Fica difícil comparar essa observação, pois nosso número de crianças avaliadas é pequeno e por isso não agrupamos as crianças de acordo com a experiência do andar independente.

A segunda onda de flexão de joelho ocorre na fase de balanço, mas tem início antes mesmo do pé ser retirado do solo, quando prepara o membro para avançar. Diferente da primeira onda de flexão, na segunda onda existe pouca diferença nos picos atingidos entre as idades de 1 e 7 anos. [Sutherland](#) (1998) aponta valores de 72° de flexão para crianças mais velhas e 65° para crianças de um ano de idade. Nossos resultados apontaram em média 64° de flexão de joelho na fase de balanço, corroborando com os dados de [Sutherland](#) (1998).

4.4.2.2 Tornozelo

As crianças desse estudo não apresentaram flexão plantar no início do toque do pé no solo e na primeira avaliação não apresentaram o primeiro pico para a

flexão do joelho durante o apoio, corroborando com os resultados de Hallemans e colaboradores (2006).

Essa característica leva à conclusão de que o padrão da marcha no início da aquisição do andar independente não é “maduro” o que resulta em um controle imaturo do andar. “Maduro” pode ser entendido, nesse contexto, como não completamente desenvolvido para alcançar as melhores estratégias do andar.

4.4.2.3 *Quadril*

Os valores encontrados para os picos de flexão e extensão na fase de apoio (Q1 e Q2) e flexão na fase de balanço (Q3) do quadril são ligeiramente menores quando comparados com os valores apontados por [Hallemans](#) e colaboradores (2005). Os autores estudaram crianças com idades entre 13,5 e 18,5 meses e encontraram valores médios de 28° de flexão para o quadril no toque do pé com o solo, 4° de extensão na fase de apoio e 39° de flexão da fase de balanço.

Os valores encontrados para hiperextensão do quadril (Q2) durante a fase de apoio foram valores negativos médios entre 1,6° e 3,5°. Esses resultados podem ser considerados baixos e de acordo com Grimshaw e colaboradores (1998) indicam que a amplitude movimento do membro inferior não foi explorada ao máximo para uma propulsão efetiva.

4.5 Conclusões

Este estudo teve como objetivo verificar mudanças nas variáveis cinemáticas selecionadas durante um período de três meses de desenvolvimento da marcha em crianças que se encontram na fase de aquisição do andar independente.

Quantitativamente, não foi possível verificar mudanças nas variáveis selecionadas. Porém, qualitativamente observou-se que todas as crianças obtiveram maior sucesso nas tentativas do andar independente na última avaliação (AV3).

As crianças que caminharam com apoio durante a primeira avaliação, andaram independente na segunda ou na terceira avaliação.

Realizar estudos com crianças nessa faixa etária exige cuidados delicados que podem interferir nos resultados. Um desses cuidados é o fator velocidade. O controle da velocidade das crianças no início do andar independente é uma tarefa muito penosa que torna a coleta de dados exaustiva.

Outros fatores que podem interferir são a motivação e o estado emocional (alegre, com sono, cansada, irritada, disposta) em que se encontra a criança no dia da avaliação facilita ou prejudica a coleta de dados.

Algumas crianças por motivos desconhecidos sentiram-se mais motivadas durante algumas avaliações. Com essas crianças, as tarefas de colocar os marcadores refletivos, filmagem na posição estática e a coleta de ciclos da marcha foram realizadas com muita facilidade.

Outras crianças em algumas avaliações não apresentaram dispostas e a coleta de dados foi exaustiva. Quando a criança não sentiu-se confortável, foi liberada e a avaliação descartada.

O trabalho foi concluído com nove crianças avaliadas em três meses e permitiu adquirir informações importantes quanto as características cinemáticas na marcha emergente.

Por fim, como principais conclusões encontramos que as crianças no início do andar independente não apresentam o primeiro pico de flexão do joelho durante a fase de apoio e a flexão plantar no início do toque do pé no solo. Qualitativamente, o comprimento da passada e a velocidade aumentaram.

Com esses resultados podemos afirmar que visivelmente todas as crianças na última avaliação demonstraram-se mais confiantes e com padrão de marcha mais regular. Isso demonstra que em poucos meses de experiência com o andar independente, a marcha torna-se mais regular, porém não o suficiente para produzir mudanças quantitativas nas variáveis cinemáticas estudadas neste trabalho.

4.6 Limitações do Estudo

O desenvolvimento da marcha não necessariamente se expressa pela idade cronológica das crianças e nosso estudo foi claro em demonstrar que o status desenvolvimental do padrão do andar está mais evidenciado pela experiência com andar independente, conclusão semelhante à de [Grimshaw](#) e colaboradores (1998).

Dessa forma, o ideal para analisar a marcha emergente é ter os participantes agrupados de acordo com a experiência do andar.

Não convém realizar o agrupamento com apenas as 9 crianças estudadas aqui, já que fizemos essa análise no Estudo I e observamos que não houve mudanças nos resultados com as Forças de Reação do Solo.

Portanto, a nossa meta é complementar esse trabalho com dados de novos participantes e agrupá-los em grupos com experiências diferentes, a fim de confirmar tal afirmação.

Outra limitação que precisa ser considerada nesse estudo é a possível interferência da variação de velocidade nos resultados.

A literatura ([Hallemans et al, 2006](#); [Beck et al, 1981](#)) reporta que o andar em crianças e a maturação da marcha necessitam considerar a velocidade para assegurar que as mudanças observadas no padrão da marcha não sejam reflexos das diferenças nas velocidades alcançadas pelas crianças.

Os mesmos autores ainda concluem que com o aumento da experiência do andar é possível verificar as mudanças nos parâmetros espaço-temporais, nas forças de reação do Solo e nos ângulos articulares. Parte dessas mudanças é atribuída ao aumento da velocidade auto-selecionada pela criança.

Crianças podem variar a velocidade do andar de acordo com a idade e condições laboratoriais. É possível que crianças usem diferentes combinações de comprimento da passada e cadência para alcançar uma dada velocidade ([Stansfield et al, 2001](#); [Beck et al, 1981](#)).

Nós permitimos que as crianças caminhassem com velocidade auto-selecionada nas avaliações. Entretanto, acreditamos que a velocidade escolhida pela criança esteve associada com a motivação pessoal, sendo que em algumas tentativas a criança sentiu-se mais motivada pelo avaliador do que em outras tentativas. Conseqüentemente, nas tentativas mais motivadoras, a criança apresentou velocidade maior.

Assim, mesmo com as limitações, esse estudo acrescenta informações qualitativas sobre as modificações nos parâmetros cinemáticos durante os primeiros meses de andar independente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho avaliou crianças no período da marcha emergente a partir de variáveis biomecânicas.

No Estudo I, foram analisadas as forças de reação do solo e o coeficiente de variação da dinâmica das curvas. Não foram encontradas diferenças significativas, mas houve redução no coeficiente de variação com o decorrer das avaliações. Antes de concluir o estudo, as crianças foram avaliadas a partir de dois agrupamentos distintos: idade cronológica e experiência do andar independente.

Primeiramente, a análise foi de acordo com a idade cronológica. Não foram encontradas diferenças significativas e optamos por reagrupar as crianças de acordo com a experiência do andar. Novamente, não encontramos diferenças estatisticamente significativas. É preciso ressaltar que o número de participantes (10) é uma amostra pequena, restringindo o alcance da análise estatística.

No Estudo II, foram avaliadas variáveis cinemáticas e assim como no Estudo I não foram encontradas diferenças significativas. Para evitar a redução do número de participantes, optamos por agrupá-los somente de acordo com a idade cronológica.

Nossa meta é continuar com o desenvolvimento desse trabalho, aumentando o número de participantes na amostra e reagrupando as crianças de acordo com a experiência no andar independente.

Diante dos resultados obtidos, nós sugerimos que pesquisas com crianças no início do andar independente sejam realizadas com o máximo de cautela possível,

pois pequenas variações na motivação e velocidade das crianças podem alterar de alguma forma os resultados.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDEL-AZIZ, Y. I.; KARARA, H. M. **Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry.** American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, p.1-18, 1971.

BECK, R. J.; ANDRIACCHI, T. P.; KUO, K. N.; FERMIER, R. W.; GALANTE, J. O. Changes in the gait patterns of growing children. **The Journal of Bone and Joint Surgery**, v. 63-A, n. 9, p.1452-6, 1981.

BARROS, R.M.L., BREZIKOFER, R., LEITE, N.J., FIGUEROA, P.J. Desenvolvimento e avaliação de um sistema para análise tridimensional de movimento humano. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 15, p.78-79, 1999.

BERNSTEIN, N. **The co-ordination and regulation of movements.** London, Pergamon Press, 1967.

BRIL, B.; BRENIERE, Y. Postural requirements and progressive velocity in young walkers. **Journal of Motor Behavior**, v.24, p.105-116, 1992.

BRIL, B.; BRENIERE, Y. Posture and independent locomotion in early childhood: learning to walk or learning dynamic postural control? In: SAVELSBERGH G.J.P. **The Development of Coordination in Infancy.** Amsterdam: Elsevier Science Publisher BV, 1993, p.337-358.

CAMPOS, D.; SANTOS, D. C. C.; GONÇALVES, V. M. G. Importância da variabilidade na aquisição de habilidades motoras. **Revista Neurociências**, v. 13, p.152-157, 2005.

CHESTER, V.L., TINGLEY, M., BIDEN, E.N. A comparison of kinetic gait parameters for 3–13 year olds. **Clinical Biomechanics**, v.21 (7), p.726–732, 2006.

CLARK, J. E.; PHILLIPS, S. J. A longitudinal study of intralimb coordination in the first year of independent walking: a dynamical systems analysis. **Child Development**, v. 79, p. 1143-57, 1993.

CLARK, J.E. Motor development. **Encyclopedia of Human. Behavior**, v.3 (1), p.245-255, 1994.

COWGILL, L.W.; WARRENER, A.; PONTZER, H.; OCOBOCK, C. Waddling and Toddling: The biomechanical effects of immature gait. **American Journal of Physical Anthropology**, v.143, p.52-61, 2010.

DAVID, A.C. **Aspectos biomecânicos do andar em crianças: cinematica e cinética**. 2000. 140 f. Tese (Doutorado em Educação Física). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

DOMINICI, N.; IVANENKO, Y.P.; LACQUANITI, F. Control of foot trajectory in walking toddlers: adaptation to load changes. **Journal of Neurophysiology**, v.97, p.2790-2801, 2007.

GALLAHUE, D.L.; OZMUN, J.C. **Compreendendo o Desenvolvimento Motor: bebês, crianças, adolescentes e adultos**. São Paulo: Phorte Editora, 2003.

GEERT, V.P.; DIJK, V.M. Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data. **Infant Behavior & Development**, v.25, p.340-374, 2002.

GRIMSHAW, P.N.; MARQUES, P.; SALO, AKI.; MESSENGER, NEIL. The 3-dimensionak kinematics of the waking gait cycle of children aged between 10 and 24 months: cross sectional and repeated measures. **Gait & Posture**, v.7, p7-15, 1998.

HADDERS-ALGRA, M. Variability in infant motor behavior: a hallmark of the healthy nervous system. **Infant Behavior Development**, v.25, p.433-51, 2002.

HAEHL, V.; VARDAXIS, V.; ULRICH, B. Learning to Cruise: Bernstein's theory applied to skill acquisition during infancy. **Human Movement Science**, v.19, p.685-715, 2000.

HALLEMANS, A.; De CLERCQ, D.; AERTS, P. Changes in 3D joint dynamics during the first 5 months after the onset of independent walking: a longitudinal follow-up study. **Gait & Posture**, v.24, p.270-279, 2006.

HALLEMANS, A.; De CLERCQ, D.; DHANIS, L.; AERTS, P. Changes in mechanical control of movement during the first 5 months of independent walking: a longitudinal study. **Journal of Motor Behavior**, v.39, p.227-238, 2007.

HALLEMANS, A.; De CLERCQ, D.; OTTEN, B.; AERTS, P. 3D dynamics of walking in toddlers: A cross-sectional study spanning the first rapid development phase of walking. **Gait & Posture**, v. 22, p.107-118, 2005.

HAUSDORFF, J.M.; ZEMANY, L. PENG, C.K.; GOLDBERGER, A.L. Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children. **Journal of Applied Physiology**, v.86, p.1040-1047, 1999.

IVANENKO, Y. P.; DOMINICI, N.; LACQUANTI, F. Development of independent walking in toddlers. **Exercise and Sport Sciences Review**, v. 35, n. 2, p. 67-73, 2007.

JORDAN, K.; CHALLIS J.H.; NEWELL K.M. Walking speed influences on gait cycle variability. **Gait & Posture**, v.26, p.128-134, 2007.

JORDAN, K.; NEWELL K.M. the structure of variability in human walking and running is speed-dependent. **Exercise and Sport Sciences Reviews**, v.36, n4, p.200-201, 2008.

LOBO DA COSTA, P.H. Desafios biomecânicos no desenvolvimento do andar infantil. **Arquivos em Movimento**, v. 4, p. 160-168, 2008.

LOBO DA COSTA, P.H. **Aspectos biomecânicos da locomoção infantil: grandezas cinéticas no andar e correr**. 2000 Tese (Doutorado em Educação Física) . Faculdade de Educação Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

MARQUES-BRUNA, P.; GRIMSHAW, P. N. Changes in coordination during the first 8 months of independent locomotion. **Perceptual and Motor Skills**, v.91, n.3, p.855-69, 2000.

MASANI, K.; KOUZAKI, M.; FUKUNAGA, T. Variability of ground reaction forces during treadmill walking. **Journal of Applied Physiology**, v.92, p.1885-1890, 2002.

NEWELL, K. M.; CORCOS, D. M. (Eds.). **Variability and Motor Control**. Champaign, Human Kinetics, 1993.

OKAMOTO, T.; OKAMOTO, K.; ANDREW, P. D. Electromyographical developmental changes in one individual from newborn stepping to mature walking. **Gait & Posture**, v. 17, p. 18-27, 2003.

OUNPUU, S.; GAGE, J. R.; DAVIS, R. B. Three-dimensional lower extremity joint kinetics in normal pediatric gait. **Journal of Pediatric Orthopedics**, v.11, p. 341-9, 1991.

PANG, M.Y.C.; YANG, J.F. Interlimb co-ordination in human infant stepping. **Journal of Physiology**, 533-2, p.617-625, 2001.

PERRY J. **Análise da Marcha**. Barueri: Manole, 2005, p. 125-127.

PIEK, J.P. The role of variability in early motor development. **Infant Behavior and Development**, v. 25, p452-465, 2002.

PREIS, S.; KLEMMS, A.; MÜLLER, K. Gait analysis by measuring ground reaction forces in children: changes to an adaptive gait pattern between the ages of one and five years. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v.39, p.228-233, 1997.

SCHNEIDER, K.; ULRICH, B. D.; JENSEN, J. L.; THELEN, E. Understanding movement control in infants through analysis of limb intersegmental dynamics. **Journal of Motor Behavior**, v. 22, n. 4, p. 493-520, 1990.

STANSFIELD, B.W.; HILLMAN, S.J.; HAZLEWOOD, M.E.; LAWSON, A.A.; MANN, A.M.; LOUDON, I.R.; ROBB, J.E. Normalized speed, not age, characterizes ground reaction force patterns in 5 to 12 year old children walking at self-selected speeds. **Journal of Pediatric Orthopedics**, v.21, p.395-402, 2001.

SUTHERLAND, D. H.; OLHSEN, R. A.; BIDEN, E. N.; WYATT, M. P. **The development of mature walking**. Philadelphia, Lippincott, 1988.

SUTHERLAND, D. The development of mature gait. *Gait and Posture*, vol.6, p.13-170, 1997.

SUTHERLAND, D.H.; KAUFMAN, K.R.; MOITOZA, J.R. Cinemática da Marcha Humana e Normal. In: ROSE, J.; GAMBLE, J.G. **Marcha Humana**. 2ed. São Paulo: Premier, 1998. p.23-45.

SLOBOUNOV, S.M.; NEWELL, K.M. Dynamics of posture in 3 and 5 year old children as a function of task constraints. **Human Movement Science**, v.13, p.861-875, 1994.

TAKEGAMI, M.D.Y. Wave Pattern of Ground Reaction Force of Growing Children. **Journal of Pediatric Orthopedics**, v.12, p.522-526, 1992.

THELEN, E. Motor development: A new synthesis. **American Psychologist**. v.50(2), p.79-95, 1995.

THELEN, E. Treadmill-elicited stepping in seven-month-old infants. **Child Development**. v.57, p.1498-14506, 1986.

THELEN, E., ULRICH, B.D. Hidden skills: A dynamic systems analysis of treadmill stepping during the first year. Monographs of the Society for Research in Child Development. v.56, p.106, 1991.

TOWEN, L.C.B. How normal is variable, or how variable is normal? **Early Human Development**, v.34, p.1-12, 1993.

WHITE, R.; AGOURIS, I.; SELBIE, R.D.; KIRKPATRICK, M. The variability of force platform data in normal and cerebral palsy gait. **Clinical Biomechanics**, v.14, p185-192, 1999.

WINTER, D.A. **The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological**. Waterloo, University of Waterloo, 1991.

WINTER, D.A. Kinematic and Kinetic patterns in human gait: variability and compensating effects. **Human Movement Science**, v.3, p.51-76, 1984.

7 APÊNDICES

APÊNDICE A – Tabelas de dados da avaliação de acordo com a idade cronológica

Tabela 1 - valores médios (desvio-padrão) das Forças de Reação do Solo, normalizadas pelo peso corporal

Componente da força de reação do solo	1ª AVALIAÇÃO (%PC)	2ª AVALIAÇÃO (%PC)	3ª AVALIAÇÃO (%PC)
Fz1	116(20)	127 (10)	108 (10)
Fz2	64 (12)	60 (8)	64 (12)
Fz3	89(10)	89(10)	84 (10)
Fy1	-17 (7)	-16 (7)	-13(5)
Fy2	18 (7)	17 (7)	15(5)

Tabela 2 - valores médios (desvio-padrão) dos parâmetros temporais, normalizados pela porcentagem da fase de apoio

TEMPO	1ª AVALIAÇÃO (% apoio)	2ª AVALIAÇÃO (% apoio)	3ª AVALIAÇÃO (% apoio)
Tz1	24,6 (5)	27,4 (3)	28,3 (4)
Tz2	47,5 (5)	50,9 (3)	49,4 (7)
Tz3	65,3 (4)	69,6 (4)	66,8 (4.0)
Ty1	17,9 (2)	17,9 (1)	18,1 (1)
Ty2	72,6 (6)	74 (3)	74,2 (3)

Tabela 3 - Valores médios (desvio-padrão) dos coeficientes de variação (CV) para as curvas das componentes das FRS nas três avaliações

CV Componentes	1º Avaliação	2º Avaliação	3º Avaliação
Vertical	71% (0.12)	60% (0.12)	53% (0.21)
Ântero-posterior	248% (0.86)	220% (0.42)	230% (0.41)

APÊNDICE B – Características do nascimento dos sujeitos

SUJEITO	IDADE GESTACIONAL (SEMANAS)	GÊNERO	PESO AO NASCIMENTO (g)	ESTATURA (cm)
1	40	F	3610	49,5
2	40	M	3115	46,0
3	40	F	4190	51,0
4	40	M	3430	49,0
5	40	F	3290	48,0
6	40	M	3620	40,0
7	40	M	3130	50,0
8	38	M	2995	49,0
9	41	M	3415	49,0
10	40	F	2920	46,5

APÊNDICE C- Dados antropométricos de cada avaliação dos sujeitos

SUJEITO	IDADE CRONOLÓGICA	GÊNERO	PESO (Kg)	ESTATURA
1	13 (1ª AVALIAÇÃO)	F	10,5	73,5
2	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	11,0	79,0
3	13 (1ª AVALIAÇÃO)	F	12,5	78,5
4	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	10,0	76,7
5	13 (1ª AVALIAÇÃO)	F	11,0	75,0
6	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	13,0	81
7	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	11,0	75,7
8	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	10,0	76,0
9	13 (1ª AVALIAÇÃO)	M	11,0	80,0
10	13 (1ª AVALIAÇÃO)	F	10,0	76,0
1	14 (2ª AVALIAÇÃO)	F	11,0	74,0
2	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	11,0	79,5
3	14 (2ª AVALIAÇÃO)	F	13,0	79,5
4	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	10,6	77,0
5	14 (2ª AVALIAÇÃO)	F	11,5	76,3
6	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	12,0	78,2
7	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	12,0	78,2
8	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	10,5	74,5
9	14 (2ª AVALIAÇÃO)	M	11,6	81,2
10	14 (2ª AVALIAÇÃO)	F	11,0	77,5
1	15 (3ª AVALIAÇÃO)	F	12,0	75,0
2	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	11,0	80,5
3	15 (3ª AVALIAÇÃO)	F	13,0	80,0
4	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	13,0	78,5
5	15 (3ª AVALIAÇÃO)	F	13,0	78,5
6	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	15,0	80,5
7	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	13,5	79,5
8	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	11,5	76,5
9	15 (3ª AVALIAÇÃO)	M	13,0	82,5
10	15 (3ª AVALIAÇÃO)	F	12,0	78,0

APÊNDICE D - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Nome do Projeto: ESTUDO BIOMECÂNICO DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DA MARCHA INDEPENDENTE EM BEBÊS

O objetivo desse estudo é verificar o comportamento das Forças de Reação do Solo na marcha infantil bem como as variáveis cinemáticas, à medida que as crianças adquirem o andar independente.

A tarefa a ser realizada para obtenção dos dados será através do caminhar em velocidade auto-selecionada pela criança. O caminho a ser percorrido será livre de qualquer forma de obstáculo e as plataformas de força estão inseridas ao nível do solo, além disso, todos os cuidados para que não haja ocorrência de quedas serão tomados rigorosamente.

Na ocorrência de qualquer tipo de desconforto apresentado pela criança em qualquer momento da coleta de dados, esta poderá ser dispensada sem nenhuma restrição. E, caso ocorra desistência, não haverá prejuízo para o participante e para o pesquisador.

A participação na realização desse projeto torna-se importante pela sua contribuição para a compreensão do processo de aquisição da marcha independente em bebês, além de destacar a importância de uma educação física infantil que enfatize a diversificação de atividades e experiências motoras.

É importante ressaltar que, ao aceitar participar do presente projeto, todos os dados obtidos será mantido em completo sigilo e somente poderão ser utilizados para fins científicos, resguardando assim, sua privacidade.

Todos os procedimentos de avaliação serão conduzidos por um profissional experiente, garantindo sua integridade física e moral. As crianças que participarão do projeto deverão estar acompanhadas durante todo o período de coleta pelos pais ou responsáveis.

Uma cópia desse termo será entregue a você, juntamente com o telefone e endereço do pesquisador principal, tornando viáveis quando necessários esclarecimentos das dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou qualquer momento.

Giovana Levada (Aluna-pesquisadora)
Rua: Gerônimo Terra, 1359 Bairro: Boa Vista
Telefone: (16) 33519573 / (16) 91153159

Profª Drª Paula Hentschel Lobo da Costa
(Pesquisadora responsável) Docente do DEFMH
Telefone do Laboratório: (16) 33519573

CONSENTIMENTO FORMAL PARA PARTICIPAÇÃO EM PROJETO DE PESQUISA.

Eu, _____, responsável pelo menor

Portadora do RG _____, residente à
_____, bairro _____

na cidade de _____, estado _____, telefone _____

autorizo a participação de meu (minha) filho (a) no projeto. Após esclarecimentos por parte da pesquisadora, tenho pleno conhecimento dos procedimentos a serem utilizados, da relevância desse estudo e de que meu (minha) filho (a) não sofrerá qualquer dano físico, psíquico, moral ou social. Além disso, terei total liberdade de abandonar a pesquisa caso não concorde com algum procedimento ou se assim desejar. Permito que toda a avaliação seja filmada e que esses dados possam ser utilizados para divulgação científica, respeitando o código de ética da instituição, com garantia de que meu (minha) filho (a) não será identificado(a) em hipótese alguma.

Declaro que li e entendi todas as informações contidas neste documento.

São Carlos, _____ de ____.

Assinatura do Responsável

APÊNDICE E- Questionário de Anamnese

Data:

Dados pessoais:

Nome:

Data de nascimento: ____/____/____ Idade:

Endereço:

telefone:

Nome do pai:

Idade:

Profissão:

Nome da mãe:

Idade:

Profissão:

Anamnese

Idade gestacional: _____ Tipo de parto: _____

Intercorrências durante a gestação:

Intercorrências durante o parto:

Peso ao nascimento:

Altura ao nascimento:

Intercorrências após o nascimento:

Faz uso de algum medicamento:

Alimentação:

Observações:

APÊNDICE F- Comitê de Ética



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
 Via Washington Luís, km. 235 - Caixa Postal 676
 Fones: (016) 3351.8109 / 3351.8110
 Fax: (016) 3361.3176
 CEP 13560-970 - São Carlos - SP - Brasil
propp@power.ufscar.br - <http://www.propp.ufscar.br/>

CAAE 0155.0.135.000-09

Título do Projeto: ESTUDO DESCRITIVO DA VARIABILIDADE DO ANDAR INDEPENDENTE EM BEBÊS

Classificação: Grupo III

Procedência: Departamento de Educação Física e Motricidade Humana

Pesquisadores (as): Giovana Levada, Paula H. Lobo da Costa (orientadora)

Processo nº.: 23112.004269/2009-77

Parecer Nº. 013/2010

1. Normas a serem seguidas

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e).
- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente em ___/___/___ e ao término do estudo.

2. Avaliação do projeto

O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (CEP/UFSCar) analisou o projeto de pesquisa acima identificado e considerando os pareceres do relator e do revisor DELIBEROU:


As pendências apontadas no Parecer nº. 501/2009, de 03 de dezembro, foram satisfatoriamente resolvidas.

O projeto atende as exigências contidas na Resolução 196/96, do Conselho Nacional de Saúde.

3. Conclusão:

Projeto aprovado

São Carlos, 11 de fevereiro de 2010.


 Prof. Dra. Cristina Paiva de Sousa
 Coordenadora do CEP/UFSCar