

M

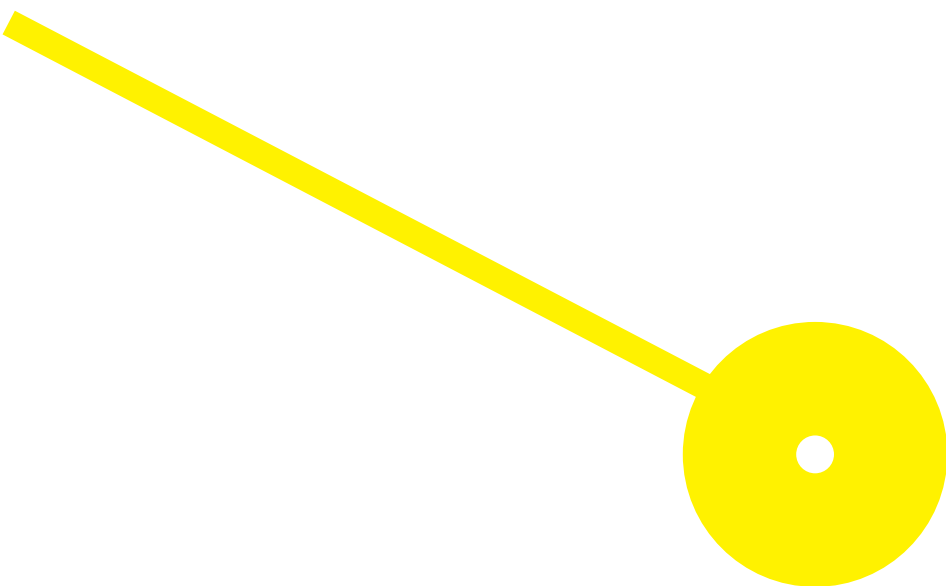
MESTRADO

Fisioterapia – Opção Neurologia

# Análise biomecânica do movimento de bebés com alto e baixo risco de desenvolver alterações neuromotoras – Revisão Sistemática

Rita da Silva Martins

11/2020





**ESCOLA  
SUPERIOR  
DE SAÚDE**

**Análise biomecânica do movimento de bebés com alto e baixo risco de desenvolver alterações neuromotoras – Revisão Sistemática**

**Autor**

Rita da Silva Martins

**Orientadoras**

Professora Doutora/Cláudia Silva/ ESS.PP/CIR

Mestre/Joana Ferreira/ ESS.PP/CIR

Dissertação apresentada para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em **Fisioterapia – Opção Neurologia** pela Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico do Porto.

## Agradecimentos

“O trabalho vai preencher uma grande parte da vida e a única maneira de estar satisfeito é fazer o que se acredita ser um ótimo trabalho.

E a única maneira de fazer um bom trabalho é amar o que se faz... Não se acomodar e continuar a procurar”.

Steve Jobs

Obrigado a todas as pessoas que se cruzaram neste percurso académico nestes últimos dois anos. Conciliar a atividade laboral, com a vida académica e com a vida pessoal não é um caminho fácil.

Quero agradecer aos meus pais, à minha irmã e aos meus avós pelos ensinamentos da vida diária e pela força com que me carregaram ao colo nos dias mais duros e por me darem a mão e permitirem andar nos dias mais leves.

Quero agradecer a paciência do meu Luís.

E quero agradecer o acompanhamento e partilha de conhecimento por parte da Professora Cláudia Silva e Joana Ferreira ao longo destes últimos meses.

Quero agradecer aos meus colegas de turma pela interajuda, aos meus casos clínicos pela disponibilidade de participação e exposição e ao apoio dos elementos da biblioteca da ESS.

Obrigado a todos, continuarei a procurar. Nunca me acomodarei.

## Resumo

**Objetivo:** Proceder à revisão sobre as metodologias de avaliação do movimento de bebês até aos seis meses de idade, recorrendo à análise biomecânica dos seus movimentos espontâneos e do alcance.

**Metodologia:** Pesquisa de estudos publicados entre janeiro de 2010–2020 na *PubMed*, *Science Direct* e *Web of Science*. Foram elegíveis os estudos que incluíram amostras com idades compreendidas entre zero e seis meses, que apresentaram outcomes de avaliação dos parâmetros biomecânicos dos movimentos espontâneos e/ou do alcance, em decúbito dorsal, escritos na língua inglesa e baseados em humanos. A revisão seguiu os critérios da PRISMA.

**Resultados:** Foram incluídos na presente revisão 27 artigos. O tamanho da amostra variou entre oito e 215, apresentando idades gestacionais entre as 22 e as 42 semanas. Os momentos de avaliação variaram entre um e dez ou mais vezes, entre o nascimento e o primeiro ano. Para a avaliação recorreu-se à acelerometria, mapeamento de pressão, rastreamento eletromagnético, sistemas optoeletrônicos, inerciais, de gravação de vídeo e ao pedoscópio computadorizado.

**Conclusão:** O sistema optoeletrico foi o recurso mais utilizado. Constatou-se a falta de exposição dos erros instrumentais e do processamento de todos os dados. As metodologias recorreram maioritariamente a variáveis cinemáticas. Embora a análise cinética se apresente como uma ferramenta promissora para a avaliação do movimento, a literatura é ainda bastante escassa.

**Palavras-chave:** Movimento Espontâneo, Análise Biomecânica, Alcance, Risco de Alteração Neuromotora

## **Abstract**

**Aim:** To review the methodologies for assessing the movement of infants up to six months of age, using the biomechanical analysis of their spontaneous movements and reach.

**Methods:** Bibliographic search of studies published between January 2010–2020 in PubMed, Science Direct and Web of Science. Eligible studies included: samples between zero and six months that showed outcomes of evaluation of biomechanical parameters of spontaneous movements and/or reach, in supine position, written in English and based on humans. The review followed the PRISMA criteria.

**Results:** 27 articles were assessed methodologically. The sample varied between eight and 215, with gestational ages between 22 and 42 weeks. Assessment moments varied between one and ten or more times, between birth and the first year. Using: accelerometry, pressure mapping, magnetic tracking, optoelectric and inertial systems, video and computerized pedoscope.

**Conclusions:** The optoelectric system was the most used resource. There was a lack of exposure to instrumental errors and the processing of all data. The methodologies mostly used kinematic variables. Although a kinetic analysis presents itself as a promising for assessing the movement, the literature is still quite scarce.

**Keywords:** Spontaneous Movement, Biomechanical Analysis, Reach, Risk of Neuromotor Alteration

## Índice

1. Introdução.....	1
2. Métodos.....	3
2.1 Fontes de Informação e Estratégia de Pesquisa .....	4
2.2 Avaliação da Qualidade Metodológica .....	4
3. Resultados.....	5
3.1 Caracterização da Amostra.....	6
3.2 Tipos de estudo, Contexto e Periodicidade de Avaliação .....	7
3.3 Sistemas de Aquisição de Movimento .....	8
3.4 Variáveis Analisadas.....	8
3.5 Principais Resultados.....	9
4. Discussão.....	14
5. Conclusão.....	19
Referências Bibliográficas .....	20
Anexo I .....	26
Anexo II .....	27

## 1. Introdução

A experiência do movimento humano tem o seu início no período fetal, através dos movimentos globais (Einspieler & Prechtl, 2005), que continuam após o nascimento (Waldmeier et al., 2013). Apresentam-se como movimentos lentos e de pequena amplitude, ao nível da cabeça, tronco e membros e são o resultado da capacidade do sistema nervoso em desenvolvimento gerar atividade espontaneamente (Blankenship & Feller, 2010), permitindo explorar possibilidades motoras que fornecem informações aferentes que são moduladas por si próprio (Hadders-Algra, 2010).

De forma gradual, esta atividade espontânea, que contribuí para o desenvolvimento do controlo postural, evolui para atividades direcionadas a um determinado objetivo (Hadders-Algra, 2007), como por exemplo o movimento de alcance, que tipicamente é observado no bebé por volta dos quatro meses, e que constitui o primeiro movimento dirigido a um objetivo motor - alcançar o alvo. A qualidade e as características individuais de cada movimento dirigido dependem de um controlo cortical, sendo a abundância da conectividade cerebral a base neural da variabilidade comportamental humana (Hadders-Algra, 2010).

Nos primeiros meses de vida há uma evolução da variabilidade em conformidade com a forma como os bebés se movem e interagem com o ambiente, permitindo moldar a sua compreensão do mundo (Hadders-Algra, 2010). Nesse sentido a variabilidade assume um papel importantíssimo no desenvolvimento do bebé, sendo considerado um fator determinante da mudança (Hadders-Algra, 2004).

Assim, um estado comportamental muito estável, com mínimas variações pode remeter para uma diminuição da variabilidade, estando esta associada a alterações do controlo postural que, quando reduzido ou com padrões de movimento atípicos pode não gerar o nível de exploração necessário para impulsionar o desenvolvimento cognitivo, perceptivo e motor do bebé (Hadders-Algra, 2010). De facto, sabe-se que a exploração gera ciclos de cognição-percepção-ação, que os bebés usam para expandir o seu repertório de movimentos, gerar oportunidades de aprendizagem e promover o desenvolvimento sensório-motor (Kanakogi & Itakura, 2011).

Por outro lado, um comportamento atípico, que se pode caracterizar pela presença de movimentos repetitivos e pouco exploratórios, pode constituir um fator essencial na predição precoce dos problemas de controlo postural associados a comprometimento neurológico e deste modo contribuir para a eficiência do planeamento da intervenção (Dusing & Harbourne, 2010).

Atendendo ao exposto, torna-se clara a importância da análise do movimento do bebé, como ferramenta de diagnóstico do seu desenvolvimento sensório-motor (Bosanquet et al., 2013). De facto, existe já suficiente evidência que comprova que bebés com diagnóstico de paralisia cerebral apresentam um pobre reportório motor, comparativamente aos bebés com desenvolvimento típico (Deffeyes et al., 2011; Adde et al., 2007; Kwong et al., 2018; Lersel et al., 2016; Soares, Rozane, & Carvalho, 2019; Ferrari et al., 2019; Shepherd et al., 2018). Alterações na qualidade do reportório motor foram também já relatadas em bebés prematuros, apresentando estes um risco elevado para o desenvolvimento de alterações neuromotoras (Hadders-Algra, 2007; Seme-Ciglenecki, 2003; Bouwstra et al., 2010; Sargent et al., 2018; Spittle et al., 2015).

Grande parte dos bebês com alterações do controlo postural tem um diagnóstico muitas vezes tardio, o que compromete a sua intervenção dirigida e atempada. A identificação precoce de bebês que apresentem maior risco para o desenvolvimento futuro de alteração neuromotora é um desafio constante para os profissionais de saúde e tem levado a um crescente interesse no uso de ferramentas de análise do movimento mais objetivas (Novak et al., 2017). Contudo, surge a necessidade de saber de que forma são analisados biomecanicamente os movimentos espontâneos e dirigidos do bebé considerando que clinicamente a análise do movimento resulta da observação de profissionais de saúde perante a história clínica e os resultados imagiológicos e dependem de alguma subjetividade que pode ser colmatada com recurso a análises biomecânicas.

Foi, assim, objetivo deste trabalho proceder à revisão sobre as metodologias usadas para a avaliação biomecânica do movimento do bebé, desde o nascimento até aos seis meses de idade, nomeadamente no que se refere à análise dos movimentos espontâneos e do movimento de alcance.

## 2. Métodos

A organização estrutural e de conteúdo da revisão sistemática foi baseada nos itens preferenciais das diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA). Foi realizada uma pesquisa computadorizada de estudos publicados entre janeiro de 2010 a janeiro de 2020, abrangendo as bases de dados e motores de buscas: *PubMed*, *Science Direct* e *Web of Science*. A estratégia PICO (população, variável de interesse e contexto) permitiu definir as componentes: bebês (população), análise biomecânica do movimento espontâneo e do alcance na posição de decúbito dorsal (variável de interesse) e o contexto laboratorial ou domiciliar (contexto), resultando nas seguintes questões de pesquisa:

- 1) Quais as características da amostra, tamanho e idade gestacional dos bebês avaliados através da análise biomecânica do movimento espontâneo e do movimento de alcance?
- 2) Quais os tipos de estudo, o contexto e a periodicidade de avaliação?
- 3) Quais os sistemas de captura de movimento usados?
- 4) Quais as variáveis analisadas?
- 5) Quais são os principais resultados?

### 2.1 Fontes de Informação e Estratégia de Pesquisa

Na *National Library of Medicine Subject Headings* (MeSH) foram identificadas e selecionadas as palavras-chave, combinadas com os operadores booleanos, representados pelos termos "AND" e "OR". A combinação resultou nas seguintes palavras-chave: Infant OR Newborn AND Movement OR "Spontaneous Movement" OR "General Movement" AND "Biomechanical Analysis" OR Kinematic OR Kinetic OR "Center of Pressure" OR "Quantitative Analysis" OR "Motion Technology" OR Accelerometry OR "Movement Trajectories" OR "Variability Measures" OR "Movement Variability Assessment" AND Reach OR Reaching OR "Hand Trajectory" AND "Infant Development". Foram introduzidas em cada uma das plataformas do mesmo modo, com todas as combinações possíveis e fracionadas. Foram selecionados alguns termos que permitiram filtrar os artigos consoante a linha orientadora definida, nomeadamente: "Humans", "Rehabilitation", "Pediatrics", "Neuroscience", "Clinical Neurology" e "Article" e o intervalo de tempo correspondente ao pretendido.

Na elegibilidade dos estudos foram abrangidos os seguintes critérios de inclusão: estudos publicados entre janeiro de 2010 e janeiro de 2020, com amostras de bebês até aos seis meses de idade, com *outcomes* de avaliação dos parâmetros biomecânicos dos movimentos espontâneos ou do movimento de alcance na posição de decúbito dorsal, escritos na língua inglesa e baseados em humanos. Constituíram critérios de exclusão, estudos que avaliassem os bebês *in útero*, que englobassem bebês com anormalidades cromossômicas, metabólicas e doenças neurológicas progressivas, meta-análises, revisões, estudos de caso, notas ou estudos técnicos publicados em conferências e estudos retrospectivos que usassem a análise de gravações de vídeo a partir de vídeos pré-estabelecidos para outros estudos.

Foi conduzida uma pesquisa de outubro de 2019 a março de 2020 nas bases de dados e a análise e seleção dos estudos foi realizada em várias etapas sequenciais. Inicialmente foram identificados todos os estudos possivelmente relevantes para a pesquisa, selecionando-os, de acordo com as palavras-chave ou combinação das mesmas no título, resumo ou palavras-chave de um estudo. Posteriormente procedeu-se à aplicação de filtros de modo a eliminar os estudos duplicados, e por fim, um escrutínio de todos os seus elementos, fazendo uma revisão mais pormenorizada do estudo. A seleção realizou-se com o recurso a dois investigadores independentes obtendo-se o consenso com o recurso a um terceiro investigador, sempre que necessário. Durante o processo de seleção, os investigadores preencheram uma grelha onde assinalavam a aceitação ou rejeição do mesmo e os motivos de exclusão.

## **2.2 Avaliação da Qualidade Metodológica**

Nos estudos de texto integral selecionados foi realizada uma avaliação da sua qualidade metodológica recorrendo à *Strengthening The Reporting of Observational Studies in Epidemiology* (STROBE). Esta ferramenta de avaliação tem uma lista de verificação de 22 itens que corresponde ao que deverá ser incluído numa descrição precisa e completa num estudo observacional. Cada item foi avaliado com um resultado dicotómico relatado a presença ou ausência do mesmo (Malta et al., 2010) (Anexo I).

Foi usada também uma versão reduzida, com 14 itens resultante da compilação da STROBE com a *Cochrane Systematic Review Handbook*, baseado no estudo de Costa, Batistão, & Rocha (2013). Os dados extraídos de cada estudo focaram-se em campos que incluíam o desenho de estudo, características metodológicas, técnicas de análise estatística e discussão e foram classificados com zero ou um, correspondendo respetivamente à ausência ou presença do critério estabelecido na tabela. Assim, quanto mais elevada a pontuação maior o número de itens apresentados no estudo (Anexo II).

### 3. Resultados

A pesquisa da literatura identificou 1562 estudos possivelmente relevantes, sendo 1212 provenientes da base de dados *Science Direct*, 261 da *Web of Science* e 89 da *PubMed*. Foram adicionados cinco estudos encontrados através das referências bibliográficas desses estudos perfazendo um total de 1567 artigos. Destes, foram contabilizadas sete duplicações, que foram removidos. A análise dos títulos e resumos resultou na eliminação de 1441 artigos e, desta forma foram incluídos 119 artigos para análise. Estes foram revistos integralmente e após análise pormenorizada da sua pertinência, foram eliminados 92 artigos, por apresentarem elementos da amostra com idades fora do espectro pretendido (n=9), por apresentarem bebês com anormalidades cromossômicas (n=4), por não procederem à análise dos outcomes de avaliação através de parâmetros biomecânicos, usando instrumentos como a *Albert Infant Motor Scale* e *Bayley Scales of Infant and Toddler Development* pelo fato de recorrerem à avaliação dos movimentos globais segundo *Precht*(n=48), por serem retrospectivos (avaliação a partir da análise de vídeos gravados noutros estudos) (n=6), por se tratarem de meta-análises, revisões sistemáticas e estudos de caso (n=12) e por não apresentarem um objetivo de estudo de interesse para a pesquisa (n= 13). Os restantes 27 artigos, de natureza observacional, foram selecionados para análise.

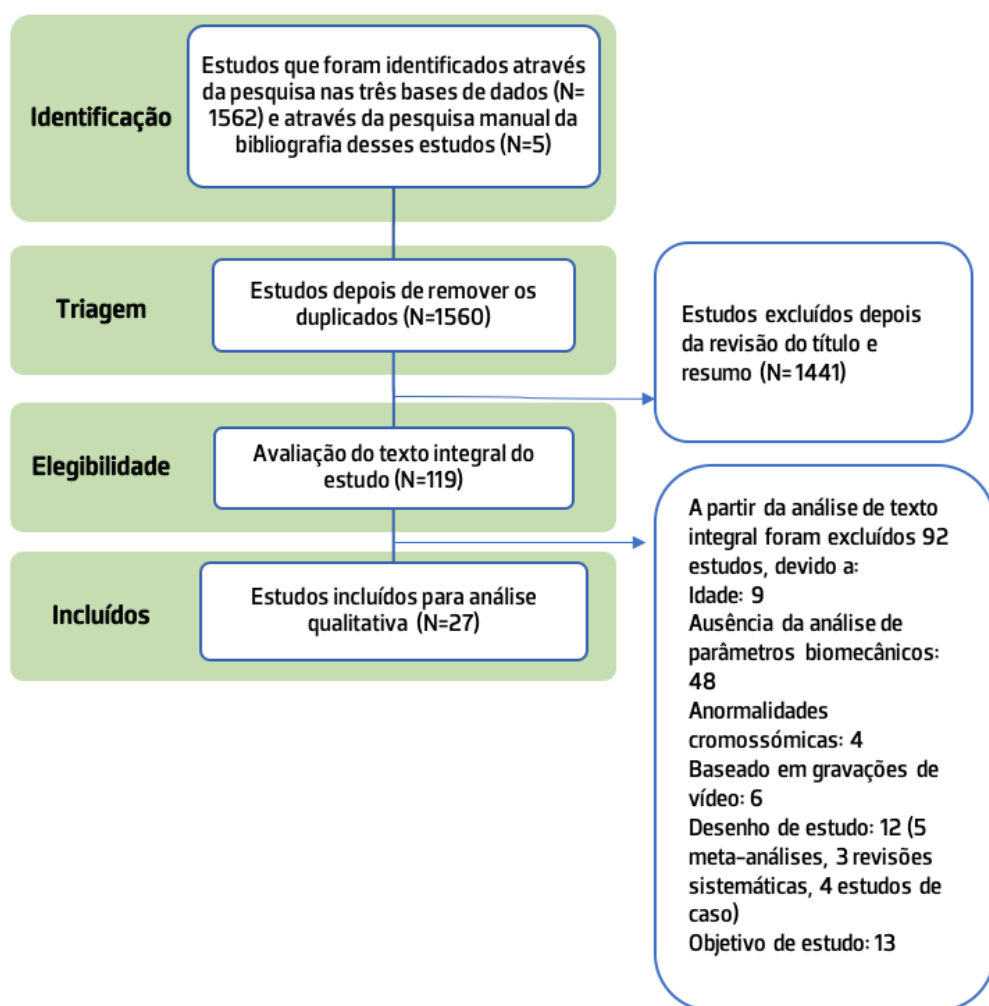


Figura 1: Diagrama de Seleção dos Estudos de acordo com as *Guidelines* PRISMA

### 3.1 Caracterização da Amostra

Observou-se que o tamanho amostral variou entre oito (Gima et al., 2011) e 215 (Adde et al., 2016), e que a maioria dos estudos englobava um número amostral com menos de 30 elementos (Adde et al., 2017; Bultmann et al., 2019; Gima et al., 2011; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2016; Bertonecelli et al., 2018; Mazzarella et al., 2020; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Disselhorst-Klug et al., 2012; Marchi et al., 2020; Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Halek et al., 2015; Heinze et al., 2010). Apenas dez estudos apresentavam tamanhos amostrais superiores a 30, nomeadamente, os artigos de Adde et al. (2016), Støen et al. (2017), Dusing et al. (2014), Philippi et al. (2014), Karch et al. (2012), Gima et al. (2019), Fetters et al. (2010), Grant-Beuttler et al. (2016), Babik et al. (2017) e Ohmura et al. (2016).

No que se refere à idade gestacional dos bebés, verificou-se que variou entre as 22 semanas (Babik et al., 2017) e as 42 semanas (Lee et al., 2011; Miyagishima et al., 2016).

Oito estudos avaliaram bebés de termo, i.e., com idade gestacional superior a 37 semanas (Ohmura et al., 2016; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Mazzarella et al., 2020; Sargent et al., 2015; Gima et al., 2011; Gima et al., 2019; Dusing et al., 2013) e cinco estudos avaliaram bebés pré-termo (Adde et al., 2017; Bultmann et al., 2019; Dusing et al., 2016; Bertonecelli et al., 2018; Miyagishima et al., 2018), com idade gestacional a variar entre as 23 e 36 semanas, sendo descritos como prematuros extremos a moderados. Em 13 estudos foram incluídos quer bebés pré-termo, quer de termo (Adde et al., 2016; Philippi et al., 2014; Støen et al., 2017; Miyagishima et al., 2016; Sargent et al., 2017; Dusing et al., 2014; Disselhorst-Klug et al., 2012; Halek et al., 2015; Babik et al., 2017; Grant-Beuttler et al., 2016; Heinze et al., 2010; Fetters et al., 2010; Marchi et al., 2020), sendo que uns avaliavam prematuros tardios e outros extremos a moderados. Um estudo (Karch et al., 2012) não definiu se os bebés eram de termo ou pré-termo.

Dos 27 estudos analisados, 12 (Ohmura et al., 2016; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Sargent et al., 2015; Gima et al., 2011; Gima et al., 2019; Dusing et al., 2013; Bertonecelli et al., 2018; Grant-Beuttler et al., 2016; Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Halek et al., 2015) apresentaram uma amostra de bebés saudáveis e não consideraram nenhum risco inerente em qualquer um dos elementos. Já, em 15 estudos (Karch et al., 2012; Marchi et al., 2020; Mazzarella et al., 2020; Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Bultmann et al., 2019; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Philippi et al., 2014; Støen et al., 2017; Sargent et al., 2017; Disselhorst-Klug et al., 2012; Babik et al., 2017; Heinze et al., 2010; Fetters et al., 2010), a amostra apresentou elementos considerados de risco, sendo que Marchi et al. (2020), Adde et al. (2017), Sargent et al. (2017), Disselhorst-Klug et al. (2012), Bultmann et al. (2019) e Heinze et al. (2010) usaram o critério da prematuridade (idade gestacional inferior às 37 semanas) para definir bebés de risco, enquanto que nos estudos de Adde et al. (2016), Dusing et al. (2016), Philippi et al. (2014), Støen et al. (2017), Dusing et al. (2014), Babik et al. (2017), Fetters et al. (2010), Mazzarella et al. (2020) e Karch et al. (2012) a definição de risco sustentou-se na presença de comorbilidades.

Dos estudos que avaliaram bebês saudáveis, apenas seis (Grant-Beuttler et al., 2016; Bertoncelli et al., 2018; Sargent et al., 2015; Marchi et al., 2020; Heinze et al., 2010; Babik et al., 2017) apresentaram critérios relativamente à definição de saudável, detalhando os aspectos a considerar para fazer parte dessa condição.

### **3.2 Tipos de estudo, Contexto e Periodicidade de Avaliação**

No que se refere ao tipo de estudo, somente quatro (Mazzarella et al., 2020; Ohmura et al., 2016; Halek et al., 2015; Marchi et al., 2020) foram estudos transversais, sendo os restantes 23 (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Babik et al., 2017; Støen et al., 2017; Bultmann et al., 2019; Fetters et al., 2010; Heinze et al., 2010; Bertoncelli et al., 2018; Disselhorst-Klug et al., 2012; Gima et al., 2011; Gima et al., 2019; Grant-Beuttler et al., 2016; Philippi et al., 2014; Karch et al., 2012) estudos longitudinais.

Cinco dos estudos analisados, compreenderam a análise do movimento de alcance (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Mazzarella et al., 2020; Marchi et al., 2020; Babik et al., 2017) e 22 a análise dos movimentos espontâneos (Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Støen et al., 2017; Philippi et al., 2014; Ohmura et al., 2016; Bultmann et al., 2019; Karch et al., 2012; Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Disselhorst-Klug et al., 2012; Gima et al., 2011; Gima et al., 2019; Halek et al., 2015; Grant-Beuttler et al., 2016; Heinze et al., 2010; Bertoncelli et al., 2018; Fetters et al., 2010).

No que diz respeito ao contexto de avaliação, seis estudos não mencionaram o local da sua realização (Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Disselhorst-Klug et al., 2012; Bertoncelli et al., 2018), 16 referiram que ocorreu em contexto laboratorial (Ohmura et al., 2016; Philippi et al., 2014; Støen et al., 2017; Bultmann et al., 2019; Mazzarella et al., 2020; Marchi et al., 2020; Karch et al., 2012; Miyagishima et al., 2016; Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Babik et al., 2017; Halek et al., 2015; Gima et al., 2019; Fetters et al., 2010; Grant-Beuttler et al., 2016; Heinze et al., 2010) e cinco, no domicílio (Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Gima et al., 2011; Babik et al., 2017).

Os momentos de avaliação biomecânica variaram entre uma única avaliação (Miyagishima et al., 2018; Adde et al., 2016; Halek et al., 2015; Philippi et al., 2014; Ohmura et al., 2016; Fetters et al., 2010; Mazzarella et al., 2020; Marchi et al., 2020; Karch et al., 2012; Sargent et al., 2017), duas avaliações (Bultmann et al., 2019; Adde et al., 2017; Sargent et al., 2015), três avaliações (Bertoncelli et al., 2018; Grant-Beuttler et al., 2016; Miyagishima et al., 2016; Disselhorst-Klug et al., 2012; Heinze et al., 2010), sete avaliações (Gima et al., 2011), nove avaliações (Babik et al., 2017) e dez ou mais avaliações (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016). No estudo de Gima et al. (2019) não existe referência à frequência das avaliações e no estudo de Støen et al. (2017), os bebês não foram sujeitos ao mesmo número de avaliações, sendo que uns foram avaliados uma vez e outros duas.

### 3.3 Sistemas de Aquisição de Movimento

Relativamente aos sistemas/equipamentos de aquisição do movimento do bebé, os estudos de Bultmann et al. (2019), Heinze et al. (2010) e de Gima et al. (2011) recorreram a sistemas de acelerometria triaxial. Foram também usados sistemas de mapeamento de pressão (Dusing et al., 2013, 2014, 2016), sistemas eletromagnéticos (Philippi et al., 2014; Karch et al., 2012), sistemas optoelectrónicos com marcadores LED activos (Optotrak) (Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Fetters et al., 2010), sistemas optoelectrónicos com marcadores refletivos passivos (Vicon) (Disselhorst-Klug et al., 2012; Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Mazzarella et al., 2020), (BTS) (Marchi et al., 2020), (Coda MPX30) (Grant-Beuttler et al., 2016), (*Qualisys*) (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012), (*Real-Time*) (Gima et al., 2019), sistema de gravação em vídeo (Halek et al., 2015; Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Støen et al., 2017; Babik et al., 2017), pedoscópio computadorizado (Bertoncelli et al., 2018) e sistemas inerciais (Ohmura et al., 2016), compostos por giroscópio, acelerómetro e bússola.

### 3.4 Variáveis Analisadas

Dos estudos que recorreram à análise de variáveis cinemáticas, o de Gima et al. (2011) utilizou medidas de aceleração e o cálculo das unidades de movimento, os de Fetters et al. (2010) recorreu à velocidade, e os de Disselhorst-Klug et al. (2012), Bultmann et al. (2019) e Heinze et al. (2010) analisaram tanto a aceleração como a velocidade. Os estudos de Lee et al. (2011; 2012) e Mazzarella et al. (2020) analisaram a velocidade e o índice de curvatura, sendo que os dois primeiros também analisaram as unidades de movimento e o terceiro a duração e frequência do movimento. Os estudos de Sargent et al. (2015; 2017), Fetters et al. (2010), Karch et al. (2012) e Philippi et al. (2014) analisaram os ângulos multiarticulares, sendo que os primeiros dois estudos também recorreram a variáveis cinéticas (torques) para recolher dados do movimento. Os estudos de Adde et al. (2016; 2017) e Støen et al. (2017) analisaram a quantidade de movimento através da posição dos dados de pixéis, o de Halek et al. (2015) recorreu à amplitude total do movimento, à velocidade e à variabilidade do centro de massa. Por sua vez o de Grant-Beuttler et al. (2016) analisou a amplitude e duração do movimento, bem como o comprimento da unidade tendão/músculo. Os estudos de Miyagishima et al. (2016; 2018) analisaram a distância e altura entre mãos e dos pés, e o de Marchi et al. (2020), para além destas analisou a amplitude de movimento. O estudo de Babik et al. (2017) procedeu à análise da amplitude de movimento.

No que diz respeito aos estudos que analisaram as variáveis cinéticas, o de Bertoncelli et al. (2018) avaliou o comportamento do centro de gravidade, o de Ohmura et al. (2016) o movimento angular e a coordenação entre o joelho e tornozelo e os de Dusing et al. (2013; 2014; 2016) analisaram o comportamento do centro de pressão.

As variáveis usadas para análise dependeram do tipo de instrumento, sendo utilizadas medidas lineares (Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Støen et al., 2017; Mazzarella et al., 2020; Lee et al., 2011; Lee et al., 2012; Miyagishima, et al., 2016; Miyagishima et al., 2018; Gima et al., 2019; Disselhorst-Klug et al., 2012;

Halek et al., 2015; Grant-Beuttler et al., 2016; Babik et al., 2017; Heinze et al., 2010; Fetters et al., 2010; Ohmura et al., 2016; Philippi et al., 2014; Karch et al., 2012; Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017; Bultmann et al., 2019) e o conjunto de medidas lineares e não lineares (Gima et al., 2011; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Bertocelli et al., 2018; Marchi et al., 2020).

### 3.5 Principais Resultados

Relativamente ao movimento de alcance, em bebés saudáveis, verificou-se um aumento da velocidade de execução e uma diminuição do número de unidades motoras, ao longo do tempo (Lee et al., 2011; Lee et al., 2012). Em contrapartida, bebés com lesão do sistema nervoso central, apresentaram menor velocidade de execução, uma maior trajetória em direção ao objeto, um maior índice de curvatura (Mazzarella et al., 2020) e uma menor frequência de movimento (Babik et al., 2017; Mazzarella et al., 2020).

Nos estudos que avaliaram os movimentos espontâneos ao longo do tempo, em bebés saudáveis de termo, verificou-se que a aceleração e a velocidade desses movimentos aumentaram (Bultmann et al., 2019; Sargent et al., 2017), bem como a amplitude de movimento da anca e joelho e os padrões dos torques articulares (Sargent et al., 2015; Sargent et al., 2017). O Expoente Máximo de *Lyapunov* permaneceu sempre positivo, apesar de variar com a idade (Gima et al., 2011), a par da complexidade do controlo postural que diminuiu face à aprendizagem motora (Dusing et al., 2013). Verificou-se, ainda, ao longo do tempo, um *kicking* mais vigoroso (Sargent et al., 2017), maior dissociação entre o joelho e o tornozelo (Ohmura et al., 2016) e uma menor amplitude do deslocamento do centro de gravidade (Bertocelli et al., 2018).

Nos estudos que incluíram bebés de termo e pré-termo, verificou-se que os bebés pré-termo apresentaram menores valores de Entropia Aproximada, menor complexidade no deslocamento do centro de pressão (Dusing et al., 2014), maior variabilidade do centro de massa (Halek et al., 2015), movimentos com maior periodicidade (Philippi et al., 2014), menor velocidade, diversidade, espontaneidade e flexibilidade (Disselhorst-Klug et al., 2012), maior amplitude total do tornozelo (Grant-Beuttler et al., 2016) e maior distância entre os segmentos das mãos e pés e menor distância entre estes e a superfície de apoio (Miyagishima et al., 2016; Miyagishima et al., 2018). Nos prematuros com patologia ou risco elevado de desenvolver alguma desordem neuromotora observou-se grande variabilidade do centróide, com movimentos globais ausentes ou esporádicos (Adde et al., 2016; Adde et al., 2017; Støen et al., 2017), com menor velocidade de execução, com menor amplitude de movimento da anca e joelho e maior amplitude de movimento do tornozelo (Fetters et al., 2010) e com pobre adaptação da variabilidade postural perante a observação de um objeto (Dusing et al., 2016).

**Tabela 1:** Objetivo, Participantes, Contexto e Momentos de Avaliação, Sistema de Captura e Movimento Analisado, Análise de Dados, Análise de Variáveis e Principais Resultados (Outcomes)

ESTUDO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	CONTEXTO E MOMENTOS DE AVALIAÇÃO	SISTEMA DE CAPTURA E MOVIMENTO ANALISADO	ANÁLISE DE DADOS	ANÁLISE DE VARIÁVEIS	PRINCIPAIS RESULTADOS - OUTCOMES
Bultmann et al. (2019)	Encontrar os padrões característicos do desenvolvimento motor nos primeiros 4M em PT moderados e tardios usando a acelerometria para avaliar os ME.	N= 23 PT (sem patologia e risco baixo e moderado)	CL AVA: <b>ao nascimento, 3M e 2 anos</b>	Acelerómetro (F= 100Hz; Nmr= 4)		A e V;	A e V: Aumentaram ao longo do tempo, bem como a variabilidade e diversidade dos ME e diminuiu a relação cruzada dos segmentos.  Os padrões de movimento: anti-gravitico e intencionais aumentaram.
Heinze et al. (2010)	Desenvolver uma metodologia que permita o diagnóstico objetivo dos distúrbios do movimento em recém-nascidos.	N= 4 PT (risco extremo a moderado) N=19 T (saúdáveis)	CL AVA: <b>1, 3 e 5M e 2 anos</b>	ME	Trajetórias Segmentares/ Séries Temporais		Alta sensibilidade do método. Valor positivo indicou-nos desordem. Rondou os 70% que correspondeu aos 4 T dos 23 PT/T da amostra.
Gima et al. (2011)	Avaliar as características dos ME dos MI em bebés e as mudanças ao longo do desenvolvimento.	N=8 T (saúdáveis)	CD AVA: <b>4 em 4 semanas após o nascimento até aos 6M</b>	Acelerómetro (F= 200Hz) ME		A (EML; ED; CMI) dos MI.	EML: foi positivo para todos os segmentos. E o EML, CMI e ED variaram ao longo do tempo (EML: reduz dos OM para os 4M e volta a aumentar aos 6M).
Bertoncelli et al. (2018)	Avaliar se existe algum curso de desenvolvimento da mudança da COG no PT.	N=11 PT (saúdáveis)	NCA AVA: <b>33-37 + 6 semanas 38-42 + 6 semanas 43-46 + 6 semanas IPM</b>	Pedoscópio computadorizado 1 Câmara de vídeo ME	Mudança da COG	F do deslocamento da COG na cabeça e tronco e a sua direção e amplitude.	PT - A amplitude de deslocamento diminuiu com a idade.
Ohmura et al. (2016)	Examinar o desenvolvimento da coordenação entre os MI dos 2 aos 3M de idade.	N= 36 (2M) e 26 (3 M) T (saúdáveis)	CL AVA: <b>2 / 3M</b>	Inercial (F= 100 Hz; Nmr= 6) 3 Câmaras de vídeo ME	Séries Temporais / Trajetórias segmentares dos movimentos angulares	Ângulo máximo e mínimo; Coordenação do joelho /tornozelo;	Flexão do joelho 2M > 3M; Extensão do joelho 3M > 2M; 3M > 2M Movimentos no tornozelo no plano frontal e a independência dos movimentos do joelho/tornozelo; 3M < 2M Coordenação do joelho/tornozelo; 3M > 2M HCA e dissociação

Nota. CL= Contexto Laboratorial; CD= Contexto Domiciliar AVA= Avaliação; M= Meses; PT= Pré-Termo; T= Termo; ME= Movimento Espontâneo; MI= Membro Inferior; V= Velocidade; A= Aceleração; EML= Expo ente Máximo de Lyapunov; CMI= Correlação entre Movimentos das Pernas; F= Frequência; Nmr= Número de marcadores refletores; ED= *Embedding Dimension*; COG= Centro de Gravidade; NCA= Não Contextualiza a Avaliação; F=Frequência; IPM= Idade Pós Menstrual; HCA= *Highly Correlative Rotation Axis*;

Continua...

Tabela 1 (Continuação)

ESTUDO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	CONTEXTO E MOMENTOS DE AVALIAÇÃO	SISTEMA DE CAPTURA E MOVIMENTO ANALISADO	ANÁLISE DE DADOS	ANÁLISE DE VARIÁVEIS	PRINCIPAIS RESULTADOS - OUTCOMES
Dusing et al. (2013)	Quantificar a magnitude da variabilidade do deslocamento da COP.	N=17 T (saúdáveis)	CD AVA: 0,5 a 1,5 M 2x/M até 3M 1x/M a partir dos 3 até aos 6 M.	Mapeamento de Pressão (F= 5 Hz)	Deslocamento/ Séries Temporais da COP	COP: RMS e APEN (CC; ML).	Não houve diferenças na magnitude da RMS Houve um aumento da APEN no que se refere à capacidade de variar o CP. A complexidade do CP diminui à medida que aprenderam os comportamentos motores.
Dusing et al. (2014)	Investigar as diferenças na variabilidade do controlo postural entre PT e T aos 1-3M.	N=18 PT (com patologia e risco extremo) N=17 T (saúdáveis)	CD AVA: 6 semanas 2x/M até 3M 1x/M a partir dos 3 até aos 6M.	1 Câmara de vídeo ME			PT: menos APENml e menor complexidade no deslocamento do COP durante a exploração da linha média da cabeça e grande magnitude de variabilidade postural em CC e ML; PT e T alteraram a sua complexidade postural durante o desenvolvimento do controle da cabeça e alcance.
Dusing et al. (2016)	Avaliar a capacidade dos PT na adaptação do CP nas tarefas do seu interesse.	N=18 PT (com patologia, risco extremo)					PT com lenta adaptação da VP perante a observação de um objeto.
Philippi, et al. (2014)	Avaliar um paradigma cinemático dos movimentos gerais em comparação com a avaliação clínica em bebés de 3M e a predição para o resultado do neurodesenvolvimento.	N= 49 PT (com patologia, risco extremo) N= 18 T (baixo risco)	CL	Eletromagnético (F= 50Hz; Nmr= 8)	Trajetórias/ Ângulos de séries temporais;		PT: Movimentos repetitivos dos MS, movimentos periódicos dos MI e com baixas velocidades angulares. A cinemática dos resultados da estereotípa forneceram-nos melhores dados para a predição de PC do que a avaliação clínica.
Karch et al. (2012)	Introduzir um método para a avaliação quantitativa que produzisse uma definição objetiva dos movimentos estereotipados que poderiam ser utilizados para o prognóstico de défices neurológicos como a PC.	N= 63 (com patologia, com e sem risco)	AVA: 3 M e 2 anos.	ME		Ângulos multiarticulares.	Crianças que desenvolveram PC: Repetição do ângulo de movimento ao longo do tempo, com valores de estereotípa mais elevados nos MS e com maior discrepância entre esses valores nos MS em relação com os MI.

Nota. CL= Contexto Laboratorial; CD= Contexto Domiciliar COP= Centro de Pressão; M= Meses; PT= Pré-Termo; T= Termo; PC= Paralisia Cerebral; AVA= Avaliação; MI= Membro Inferior; MS= Membro Superior; RMS= Raiz Quadrada Média; APEN= Entropia Aproximada CC=Céfalo-Caudado; ML= Médio-Lateral; CP= Controlo Postural; VP= Variabilidade Postural; ME= Movimento Espontâneo; F= Frequência; Nmr= Número de marcadores refletores

Continua...

Tabela 1 (Continuação)

ESTUDO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	CONTEXTO E MOMENTOS DE AVALIAÇÃO	SISTEMA DE CAPTURA E MOVIMENTO ANALISADO	ANÁLISE DE DADOS	ANÁLISE DE VARIÁVEIS	PRINCIPAIS RESULTADOS - OUTCOMES
Sargent et al. (2015)	Investigar a contribuição das mudanças de torque precoces na coordenação das articulações dos MI.	N=10 T (saúdáveis)	CL AVA: 6 e 15 semanas	Optoeletrico - LED's ativos (F=100 Hz; Nmr=10)		Torques articulares; Coordenação articular anca/joelho e dinâmica articular do joelho.	15 semanas: Maior complexidade dos padrões de torque, menor coordenação anca/joelho
Sargent et al. (2017)	Investigar as mudanças na coordenação das articulações dos MI, dinâmica intersegmentar e sua relação no PT.	N=11 PT (sem patologia e risco moderado) N=10 T (saúdáveis)	CL AVA: 6 - 15 semanas, 2 anos	3 Câmaras de vídeo	Posições angulares das articulações		PT: dissociação mais precoce das articulações do tornozelo com a anca e joelho, maior complexidade dos padrões de torque. Menor amplitude da velocidade angular e torque da anca. <i>Kicking</i> menos vigoroso.
Fetters et al. (2010)	Comparar os movimentos de coordenação entre os membros aos 5M em PT com LSB, PT e T.	N=18 PT com LSB N=18 PT (risco extremo) N=11 T (saúdáveis)	CL AVA: 5M	ME		Ângulos articulares; V; Coordenação entre os membros.	T: maior velocidade, com maior amplitude de movimento das ancas e joelhos e com maior correlação entre os membros. PT com LSB com maior amplitude do tornozelo. PT com maior fase relativa discreta.
Marchi, et al. (2020)	Avaliar o desempenho dos índices cinemáticos numa coorte de bebês com DT como preditores na IPT.	N= 16 T e PT (sem patologia e baixo risco)	CL AVA: 9- 20 semanas	Optoeletrico - LED's ativos (F=10 Hz; Nmr= 6) MA		IC; IDD; IGM.	IPT mais elevada apresentou maior mobilidade, menor distância, maior altura e complexidade e com igual probabilidade de encontrar as mãos abertas ou fechadas.
Miyagishima et al. (2016)	Investigar se os ME nos PT são insuficientes comparando com os T.	N=13 PT N=15 T (saúdáveis)	CL AVA: 1, 2 e 3M	Optoeletrico - refletores passivos (F=100 Hz; Nmr= 8)		Distância e Altura;	PT com maior distância e menor altura entre as mãos e pés do que os T. T: altura aumenta com a idade.
Miyagishima et al. (2018)	Analisar a relação entre o resultado da GMD nos PT e os fatores que talvez os afetem no NDM.	N=18 PT (saúdáveis)	CL AVA: 3, 6 e 12 M	ME			Forte correlação entre a distância e altura
Disselhorst-Klug et al. (2012)	Verificar se os parâmetros utilizados eram adequados para monitorar quantitativamente o desenvolvimento dos ME durante os primeiros 6M.	N=8 PT (sem patologia e risco extremo a moderado) N=16 T (saúdáveis)	NCA AVA: 1, 3 e 5M e 2 anos	Optoeletrico - refletores passivos (F=50 Hz; Nmr=2) ME	Trajetórias Segmentares/ Séries Temporais	Assimetria da V; Correlação cruzada de A; Periodicidade na trajetória e V e desvio padrão	PT: (1-3M: menos diversidade, velocidade, flexibilidade e espontaneidade e com maior coordenação). PT diminuíram o perfil do pé 1 - 3M.
Mazzarella et al. (2020)	Avaliar a viabilidade da aplicação da cinemática em bebês com PC e hemiplegia e coletar dados preliminares para explorar o NDM.	N=21 T (10 AVC, 11 DT) (metade com patologia)	CL AVA: 8 - 12 semanas	Optoeletrico - refletores passivos (F=120Hz; Nmr=8) MA		F média e V do movimento; Comprimento do trajeto do mão e relação com o índice de curvatura.	T com AVC- apresentavam menor frequência de movimento, menor velocidade, maior trajetória e maior índice de curvatura.
Grant-Beuttler et al. (2016)	Examinar a influência da UTM nos movimentos do tornozelo durante o <i>kicking</i> DD entre PT e T.	N=22 PT N=20 T (saúdáveis)	CL AVA: 7º dia, 6 semanas e 12 semanas	Optoeletrico - refletores passivos (F=200 Hz; Nmr=5) ME		Duração e Amplitude do movimento; Comprimento da UTM.	PT - maior flexão plantar e amplitude total do tornozelo durante o <i>kicking</i> . Comprimentos de UTM explicaram a variação na cinemática do tornozelo.

Nota. CL= Contexto Laboratorial ME = Movimento Espontâneo(s); T= Termo; PT= Pré-Termo; AVA= Avaliação; MS= Membro Superior; MI= Membro Inferior; IC= Índice de Coordenação; IDD= Índice de distância; IGM= Índice de Qualidade de Movimento Global; M= Meses; LSB= Lesão Substância Branca; V= Velocidade; MI= Membro Inferior; F= Frequência; Nmr= Número de marcadores refletores; DT= Desenvolvimento Típico; IPT= Idade Pós Termo; GMA= *General Movement Assessment*; NCA= Não Contextualiza a Avaliação; NUM= Número de Unidades Motoras; A= Aceleração; PC= Paralisia Cerebral; AVC= Acidente Vascular Cerebral; MA= Movimento de Alcance; NDM= Neurodesenvolvimento Motor; GMD= *Gross Motor Development*; UTM= Unidade Tendão/Músculo;

Continua...

Tabela 1 (Continuação)

ESTUDO	OBJETIVO	PARTICIPANTES	CONTEXTO E MOMENTOS DE AVALIAÇÃO	SISTEMA DE CAPTURA E MOVIMENTO ANALISADO	ANÁLISE DE DADOS	ANÁLISE DE VARIÁVEIS	PRINCIPAIS RESULTADOS - OUTCOMES
Lee et al. (2011)	Descrever quantitativamente as alterações no movimento do MS orientado a objetos que precedem o movimento de alcance direcionado a objetivos na infância.	N= 9 T (saúdáveis)	NCA	Optoeletrico – refletores passivos (F= 240Hz; Nmr= 6)		V; NUM;	Os bebês que alcançaram o objeto mais cedo apresentavam um padrão constante de tentativas com V equiparadas, no geral com menor V e maior número de NUM do que os bebês com alcance tardio.
Lee et al. (2012)	Investigar a influência da informação visual da trajetória da mão no desenvolvimento dos movimentos de preensão no alcance.	N=10 T (saúdáveis)	AVA: <b>10 semanas, 2/ 2 até às 28 semanas, 1 ano</b>	2 Câmara de Vídeo MA	Trajetoórias Segmentares/ Séries Temporais	Índice de Curvatura (no de Lee et al., 2012)	Ao longo do tempo a V aumentou e a NUM e o índice de curvatura diminuíram. O tamanho do objeto interferiu com a V, quando maior, maior a V.
Gima et al. (2019)	Examinar a correlação entre a classificação FMs baseada no GMA pelos avaliadores e as características de movimentos dos membros.	N=128 T (saúdáveis)	CL AVA: <b>11- 16 semanas</b>	Optoeletrico – refletores passivos (F= 60Hz; Nmr= 4) 1 Câmara de vídeo ME		V; NUM; A.	MS (V: FMs contínuos > esporádicos; A: FMs contínuos < intermitentes e esporádicos; NUM: FMs contínuos e intermitentes > esporádicos).
Adde et al. (2016)	Determinar se o comportamento motor aos 3M estava associado ao desenvolvimento motor aos 12M em bebês com baixo peso ao nascimento.	N= 215 PT e T (com patologia e risco extremo a moderado)	NCA AVA: <b>9 – 16 semanas e 1 ano</b>	1 Câmara de vídeo ME	Posições de dados em pixéis		CMT > 90 T – FMs contínuos; CMT > 80 PT – FMs anormais; Variabilidade do C maior em bebês com comprometimento motor.
Adde et al. (2017)	Avaliar se a análise de vídeo feita em computador especifica as características dos FMs em oposição aos WGMs.	N= 27 PT (com patologia e risco baixo a moderado)	NCA AVA: <b>3-5 e 10-15 semanas</b>	ME	Posições de dados em pixéis (25 frames/segundos)	Q movimento (média; desvio padrão); C movimento (média e desvio padrão).	Q e C: FMs < WGMs;
Støen et al. (2017)	Explorar se as variáveis de movimento baseadas em computador estavam associadas à organização temporal das FMs em bebês com risco de lesão cerebral perinatal.	N=150 T e PT (com patologia e risco extremo a moderado)	CL AVA: <b>10 – 15 semanas (1 a 2)</b>	1 Câmara de vídeo (F=30 Hz) ME			PT/T com patologia: Predominância dos FMs intermitentes, mas também apresentam FMs ausentes e esporádicos e maior variabilidade do C;
Babik et al. (2017)	Comparar o comportamento de exploração não-orientada ao objeto em T e PT.	N=24 T (saúdáveis) N=30 PT (24 saúdáveis; 6 com patologia e risco extremo a moderado)	CD AVA: <b>nascimento, 1,5M, 3M, 4M, 6M, 9M, 12M, 18M e 2 anos</b>	2 Câmaras de vídeo MA	Trajetoórias segmentares/ Séries Temporais	Amplitude de movimento.	PT com patologia: menor frequência do comportamento, com mais episódios exploratórios não orientado a um objeto e menos variáveis em relação aos T/PT sem patologia.
Halek et al. (2015)	Avaliar a competência do vídeo para analisar a COM em recém-nascidos de forma a determinar as diferenças nos ME entre PT e T.	N=10 PT N=10 T (saúdáveis)	CL AVA: <b>dia 3 ou posterior nascimento</b>	2 Câmaras de vídeo ME		Amplitude de movimento total, variabilidade e V da COM (direções CC, AP e ML).	PT: Maior amplitude de movimento, da V e da variabilidade da COM: direções CC e AP

Nota. NCA=Não Contextualiza a Avaliação; CL= Contexto Laboratorial; M= Meses; T= Termo; PT= Pré-Termo; AVA= Avaliação; M= Meses; MS= Membro Superior; V= Velocidade; CC= Céfalo-caudal; AP= Ântero-Posterior; ML= Médio-Lateral; F= Frequência; Nmr= Número de marcadores refletores; ME= Movimento Espontâneo; MA= Movimento de Alcance; NUM= Número de Unidades Motoras; GMA= General Movements Assessment; FMs= Fidgety Movements; MI= Membro Inferior; A= Aceleração; CD= Contexto Domiciliar  
WGMs= Writhing General Movement; COM= Centro de Massa; MA= Movimento Alcance; Q= Quantidade; C= Centróide; CMT= Coeficiente Motor Total

#### 4. Discussão

A presente revisão sistemática pretendeu proceder à revisão sobre as metodologias usadas para a avaliação biomecânica do movimento do bebé, deste o nascimento até aos seis meses de idade, nomeadamente no que se refere à análise dos movimentos espontâneos e do movimento de alcance. Especificamente, pretendeu-se responder a questões relacionadas com as características da amostra, no que se refere ao tamanho e à idade gestacional aos tipos de estudo, contexto e periodicidade das avaliações, aos sistemas de captura de movimento usados, às variáveis analisadas e aos resultados obtidos.

Assim, relativamente ao tamanho da amostra, apenas o estudo de Grant-Beuttler et al. (2016) procedeu ao cálculo do tamanho amostral. Os restantes estudos não fizeram referência a este aspecto e verificou-se que a maioria deles apresentou um número amostral inferior a 30 elementos. Desta forma, identificam-se lacunas na questão da representatividade/extrapolação das conclusões obtidas para a população em estudo, uma vez que um número amostral reduzido implica resultados estatisticamente menos relevantes, podendo comprometer a validade do estudo, sendo o cálculo do tamanho amostral extremamente pertinente (Fortin, 2009). Assim, torna-se fundamental que na elaboração de estudos futuros neste âmbito este aspeto seja tido em consideração, garantindo-se na medida do possível que o número de participantes seja elevado, de modo a diminuir o impacto nos efeitos observados, considerando as perdas diferenciais de acompanhamento devido a doença ou fadiga ou simplesmente a desistências ao longo do estudo (Kjaergard, Villumsen & Gluud, 2001).

De um modo geral, foi definida uma amostra de conveniência, consoante os objetivos do estudo, sendo contudo observada variabilidade no que se refere aos critérios para a definição de bebé de risco. A maioria dos estudos que apresentou uma amostra classificada como de risco, sustentava esta classificação na presença de comorbilidades, como hiperbilirrubinemia neonatal, hipoglicemia ou lesões do sistema nervoso central (Adde et al., 2016; Dusing et al., 2016; Philippi et al., 2014; Støen et al., 2017; Dusing et al., 2014; Babik et al., 2017; Fetters et al., 2010; Mazzarrela et al., 2020; Karch et al., 2012), enquanto que os de Marchi et al. (2020), Adde et al. (2017), Sargent et al., 2017; Disselhorst-Klug et al. (2012), Bultmann et al. (2019) e Heinze et al. (2010) consideraram como critério a idade gestacional inferior a 37 semanas, ou seja, a condição de prematuro.

A variabilidade correspondente à forma como caracterizaram o risco, a falta de clareza relativamente aos critérios que definem um bebé saudável e a heterogeneidade dos grupos da amostra oferecem um entrave na reprodutibilidade dos resultados, nomeadamente a validade externa do estudo, considerando que a extensão dos resultados da população que a amostra pretende representar são limitativos (Fortin, 2009).

Nesse sentido, devem ser definidos em estudos futuros, os critérios exactos relativos ao risco, a definição de bebé saudável e realizar-se, sempre que possível, uma distribuição homogénea, em termos de tamanho amostral, entre os grupos.

Por sua vez, no que diz respeito ao contexto de avaliação verificou-se que a grande maioria dos estudos foram realizados em contexto laboratorial, assegurando-se assim a estabilidade e controlo de variáveis como a luminosidade, o ruído e a temperatura ambiente. Desta forma, para além de se garantirem condições estáveis relacionadas com estas variáveis, entre avaliações sucessivas (diminuindo a sua interferência na interpretação dos resultados obtidos), garante-se de forma mais eficaz o controlo da homeostasia do bebé, sobretudo do prematuro que muitas vezes apresenta dificuldade na regulação da temperatura corporal, pela ineficácia do mecanismo de produção e preservação do calor por vasoconstricção rápida a nível periférico (Raphe & Dail, 2018). O contexto domiciliário apresenta a desvantagem de não possibilitar o criterioso controlo das variáveis acima referidas, pressupondo ainda uma maior disponibilidade por parte do investigador, considerando que acarreta um maior dispêndio de horas, tanto no deslocamento como na organização do equipamento, relacionado com cada visita efectuada. Por outro lado, este contexto apresenta a vantagem de evitar o deslocamento dos pais/cuidadores, possibilitando uma melhor gestão dos gastos financeiros e prejuízos na organização familiar pelo tempo dispendido.

No que concerne aos sistemas de captura de movimento, a maioria dos estudos utilizou o sistema optoelectrico, possivelmente por este sistema ser o mais comum, preciso (Corazza et al., 2010) e apresentar melhor relação entre as vantagens / limitações, comparativamente a outros sistemas (Vilas-Boas & Cunha, 2016). Assim, ainda que possam ocorrer erros relacionados com as recolhas e processamento dos dados (Weng, Cohen & Herniou, 1992), o facto de este tipo de equipamento permitir a aquisição de dados com a capacidade de calibração a alta velocidade e elevada resolução, como acontece com o sistema Qualisys usado nos estudos de Lee et al. (2011; 2012), bem como o facto de fornecer dados confiáveis e com o recurso a programas de computador específicos que permitem a exibição em tempo real do video, tornam estes sistemas nos mais usados em estudos de âmbito biomecânico (Weng, Cohen & Herniou, 1992),.

O segundo sistema mais utilizado correspondeu à gravação de video, sendo que a maioria dos estudos que recorreu a este tipo de sistema, analisou os dados através da posição dos pixéis. Foram excepção os estudos de Halek et al. (2015) e de Babik et al (2017), que recorreram à análise das trajetórias e amplitudes de movimento. Este sistema apresenta a capacidade de avaliar padrões de movimento com a vantagem de não necessitar de sensores para recolha, evitando desta forma a suscetibilidade a erros relacionados com a manipulação dos mesmos e colocação adequada nas referências anatómicas (Colyer et al. 2018). Porém, sendo um método holístico, capaz de medir fenómenos conjuntos e não o comportamento isolado de um segmento, apresenta a desvantagem da restrição à análise de movimento de um ou mais membros isoladamente (Chelihi & Gaydecki, 1993). Pressupõe, ainda, grande dispêndio de tempo para a recolha de dados e necessita de uma grande capacidade de armazenamento e gestão da memória do sistema (Chelihi & Gaydecki, 1993). Assim, embora este sistema constitua uma ferramenta útil para avaliar a cinemática dos movimentos espontâneos e do alcance do bebé, a literatura sugere o

complemento com outra ferramenta, como a avaliação dos movimentos globais segundo Prechtel, de forma a beneficiar da reprodutibilidade dos resultados (Adde et al., 2016).

Foram ainda utilizados sistemas de acelerometria, que apresentam, alta sensibilidade para a aquisição de informação relacionada com o movimento, embora apresentem a desvantagem de estarem suscetíveis à variação da temperatura (Lemoyne, Coroian, Mastroianni & Grundfest, 2008). Contudo, importa referir que este aspeto foi alvo de controlo na maioria dos estudos que utilizaram este método, com exceção do estudo de Gima et al. (2011) pelo fato de ter sido realizado em contexto domiciliar.

Nos estudos de Dusing et al. (2013; 2014; 2016), os autores recorreram ao sistema de mapeamento de pressão, permitindo a aquisição de dados automaticamente, para além de fornecerem imagens dinâmicas dos pontos de pressão objetivos e de serem capazes de eliminar possíveis artefatos de movimento.

Apenas dois estudos (Philippi et al., 2014; Karch et al., 2012) usaram sistemas eletromagnéticos, provavelmente pelo facto de estes apresentarem a desvantagem da distorção dos campos magnéticos por materiais ferromagnéticos e eletrónicos (Day, Dumas & Murdoch, 2000), constituindo assim uma barreira a aplicação deste tipo de sistemas em contexto domiciliar, onde não há controlo da exposição. Contudo, uma vez que os estudos apresentados foram realizados em contexto laboratorial, poderão ser considerados sistemas bastante úteis e fiáveis.

O sistema microeletromecânico foi utilizado num estudo (Ohmura et al., 2016), sendo que este sistema inercial apresenta as vantagens de ser, confiável, económico, eficiente portátil e capaz de detectar com precisão movimentos rápidos. Contudo, apresenta a desvantagem de ser sensível a erros de medição provocados pela proximidade de materiais metálicos (Zohlandt, Walk & Nawara, 2012).

Por fim, à semelhança do sistema inercial, também o pedoscópio computadorizado foi usado apenas num único estudo (Bertoncelli et al., 2018). Este sistema apresenta elevada sensibilidade à oscilação postural, permitindo a obtenção imediata dos dados processados. Apresenta ainda a vantagem da portabilidade, permitindo a aquisição de dados em diferentes contextos, mas apresenta a desvantagem de ser um método dispendioso (Baumfeld et al., 2018).

Importa referir que este último sistema, o pedoscópio computadorizado, carece ainda de adequada validação, pelo que será pertinente apostar neste aspeto, em termos de desenvolvimento de sistema, de forma a que se possam aproveitar as vantagens da sua fácil portabilidade para facilitar a recolha de dados em qualquer contexto, potenciando assim o leque de avaliações clínicas disponíveis para a caracterização do comportamento neuromotor dos bebés.

No que se refere às variáveis, somente dois estudos, os de Sargent et al. (2015; 2017) avaliaram a cinemática (ângulos multiarticulares) e cinética (torques musculares). Dos restantes, as variáveis cinemáticas foram as mais usadas, nomeadamente, a velocidade, a aceleração, as unidades motoras, frequência, amplitude e quantidade do movimento, índice de curvatura e os ângulos multiarticulares. Recorreram à análise da média, desvio padrão, pico mínimo e máximo, bem como da correlação, entre outras medidas quantitativas. Essas são consideradas medidas lineares e foram usadas em todos os

estudos. Estas não permitem saber o comportamento, pelo fato de não definirem com precisão as dinâmicas importantes do movimento, como a estabilidade, sendo que fornecem apenas informações da quantidade de variabilidade (Harbourne & Stergiou, 2009). Desse modo deve considerar-se a capacidade de essas medidas avaliarem exatamente o comportamento do movimento. E como tal, o complemento com medidas não lineares, como ocorreu em seis estudos (Gima et al., 2011; Dusing et al., 2013; Dusing et al., 2014; Dusing et al., 2016; Bertoncelli et al., 2018; Marchi et al., 2020), apresentou a vantagem de analisar a complexidade e facultar informações adicionais sobre a estrutura (Harbourne & Stergiou, 2009). Em alguns estudos esses dados foram analisados através do Exponente Máximo de Lyapunov e a Entropia Aproximada, como acontece na pesquisa de Dusing et al. (2013; 2014; 2016) para avaliar o controle postural e Gima et al. (2011), já Bertoncelli et al. (2018) recorreu à correlação entre a posição do centro de gravidade e a idade e Marchi et al. (2020) aos índices de qualidade de movimento.

Relativamente aos principais resultados obtidos, verificou-se alguma contradição nos estudos em análise. Assim, nos estudos de Dusing et al. (2014; 2016) os autores reportaram uma menor complexidade/variabilidade do controle postural dos bebês pré-termo, enquanto que nos estudos de Adde et al. (2016; 2017) e Støen et al. (2017) houve referência à maior variabilidade do centróide de movimento, bem como o de Halek et al. (2015), que aponta para uma maior variabilidade do centro de massa. Estes resultados aparentemente contraditórios podem estar relacionados com as variáveis em estudo. De fato, tendo em conta que os estudos que observaram maior variabilidade recorreram a medidas lineares para o processamento, importa ressaltar que este tipo de análise, que permite obter informação relativamente à quantidade de movimento, apresenta limitações na interpretação criteriosa desse mesmo movimento, levando a que uma maior variação seja interpretada como um aumento na variabilidade (Hadders-Algra, 2010). Tal pode então ser o caso dos estudos que relataram uma maior variabilidade nos bebês prematuros.

Outro aspeto controverso refere-se aos resultados obtidos no estudo de Sargent et al. (2017) que verificaram uma menor dissociação de movimentos espontâneos dos bebês de termo ao longo do tempo, contrariamente ao que se observou no estudo de Ohmura et al. (2016). A justificação para estes resultados poderá estar relacionada com os segmentos corporais selecionados para análise considerando que um avaliou anca e joelho e o outro joelho e tornozelo.

No seguimento da análise dos movimentos espontâneos, o estudo realizado por Fetters et al. (2010) observou que bebês prematuros, comparativamente aos de termos apresentavam um padrão de *kicking* mais vigoroso, enquanto que o estudo de Sargent et al. (2017) constatou o oposto. Esta heterogeneidade pode estar relacionada com o fato dos bebês de termo apresentarem tipicamente maior amplitude de movimento comparado com os bebês prematuros contudo a nível do tornozelo esse comprimento do movimento é menor, permitindo que estes realizassem uma maior amplitude e conseqüentemente um *kicking* mais vigoroso, contudo no outro estudo (Sargent et al., 2017) recorrendo aos torques musculares permitiu observar-se o déficit na capacidade de gerar força contribuindo para posturas mais extensoras e menor competência motora face aos bebês de termo.

Ainda sobre os bebês prematuros, o estudo de Bultmann et al. (2019) verificou que a velocidade e diversidade aumentavam ao longo do tempo, ao contrário dos resultados obtidos no estudo de Disselhorst-Klug et al. (2012), que verificaram o contrário. Este fato pode relacionar-se com a seleção da amostra, pois, apesar de ambos incluírem bebês de risco (com idade gestacional inferior a 37 semanas), o estudo de Disselhorst-Klug et al. (2012) incluiu uma amostra de bebês de risco extremo, ou seja, com elementos da amostra com idade gestacional de 25,5 semanas resultando numa exposição ainda mais precoce à gravidade, que terá contribuído para um maior comprometimento das competências relacionadas com o movimento (Sargent et al., 2017).

Nos estudos de Lee et al. (2012) e Mazzarella et al. (2020), relacionados com o movimento de alcance, os autores referem maior velocidade de execução do movimento em bebês de termo, contrariamente ao estudo de Lee et al. (2011) que reportou uma menor velocidade ao longo do tempo. Esse fato relacionou-se com a análise dos dados da amostra, considerando que houve uma variabilidade da execução do gesto dentro da mesma amostra, constatando que os bebês com alcance tardio apresentavam picos máximos de velocidade desajustados, ao contrário dos bebês com alcance precoce que assumiram um padrão de tentativas de movimento com velocidades controladas.

Face ao exposto, será pertinente, em estudos futuros, proceder ao cálculo do tamanho amostral adequado, de forma a permitir a extrapolação para a população em estudo, estudar o contexto mais adequado para realizar a medição da variável, documentar as limitações específicas dos sistemas de captura de movimento, documentar o processamento de todos os dados, e estudar as medidas de análise de movimento mais adequadas e sensíveis para avaliar o controlo postural.

## 5. Conclusão

A presente revisão identificou os sistemas de captura de movimentos e as variáveis analisadas, considerando que os sistemas optoeletrônicos correspondem ao recurso mais usado na maioria dos estudos, apesar de nem sempre garantirem a referência aos detalhes característicos dos instrumentos, bem como dos erros inerentes. A maioria dos estudos recorrem a variáveis cinemáticas para a análise de movimento, e um grupo *minor* de estudos recorreu às variáveis cinéticas, nomeadamente ao sistema microeletromecânico e ao pedoscópio computadorizado. Estes sistemas parecem ser promissores, contudo a literatura é escassa quanto à sua validade. A maioria dos estudos avaliou o movimento recorrendo a medidas lineares condicionando assim a adequada interpretação do comportamento do movimento.

## Referências Bibliográficas

- Adde, L., Rygg, M., Lossius, K., Oberg, G. K. & Støen, R. (2007). General movement assessment: predicting cerebral palsy in clinical practice. *Early Human Development*, 83(1), 13-8. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.03.005>.
- Adde, L., Thomas, N., John, H., Oommen, S., Vagen, R. T., Fjørtoft, T., Jensenius, A. R., & Støen, R. (2016). Early motor repertoire in very low birth weight infants in India is associated with motor development at one year. *Physiotherapy Theory and Practice*, 20 (6), 918-924. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.07.019>
- Adde, L., Yang, H., Saether, R., Jensenius, A. R., Ihlen, E., Cao, J., & Støen, R. (2017). Characteristics of general movements in preterm infants assessed by computer-based video analysis. *Physiotherapy Theory and Practice*, 34 (4), 1-7. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1391908>
- Babik, I., Galloway, J. C., & Lobo, M. A. (2017). Infants born preterm demonstrate impaired exploration of their bodies and surfaces throughout the first 2 years of life. *Physical Therapy*, 97 (9), 915-925. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx064>.
- Baumfeld, T., Baumfeld, D., Dias, C. G. P. & Nery, C. (2018). Advances of baropodometry in Human Health. *Annals of Musculoskeletal Disorders*. 2(2): 1011,1-4.
- Bertoncelli, N., Lucaccioni, L., Ori, L., Einspieler, C., & Prenchtl, H. (2018). Shifting of the body center of gravity in low-risk preterm infants: A video-pedoscope study. *Early Human Development*, 124, 33-37. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2018.08.004>
- Blankenship, A. G., & Feller, M. B. (2010). Mechanisms underlying spontaneous patterned activity in developing neural circuits. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 18-29
- Bosanquet, M., Copeland, L. & Ware, R., & Boyd, R. (2013). A systematic review of tests to predict cerebral palsy in young children. *Development Medicine & Child Neurology*, 55 (5), 418-426. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12140>
- Bouwstra, H., Dijk-Stigter, G. R., Grooten, H. M. J., Janssen-Plas, F.E., Koopmans, A.J., Mulder, C.D., Belle, A.V. & Hadders-Algra, M. (2010). Predictive value of definitely abnormal general movements in the general population. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 52(5), 456-61. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03529.x>
- Bultmann, C.S., Orlikowsky, T., Häusler, H., Trepels-Kottek, S., Disselhorst-Klug C., & Schoberer, M. (2019). Spontaneous movements in the first four months of life: Na accelerometric study in moderate and late preterm infants. *Early Human Development*, 130, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.01.002>
- Chelihi, N. & Gaydecki, P. A. (1993). A low-cost video-based multiple-target digital tracking system. *Measurement Science and Technology*, 4(4), 447-450. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/4/4/001>

- Costa, C. S., N., Batistão, M. V., & Rocha, N. A. C. F. (2013). Quality and structure of variability in children during motor development: A systematic Review. *Research in Development Disabilities, 34*, 2810–2830
- Colyer, S. L., Evans, M., Cosker, D. P. & Salo, A. I. (2018). A Review of the Evolution of Vision-Based Motion Analysis and the Integration of Advanced Computer Vision Methods Towards Developing a Markerless System. *Sports Medicine, 4* (1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0139-y>
- Corazza, S., Munderann, L., Gambaretto, E., Ferrigno, G. & Andriacchi, T. P. (2010). Markerless Motion Capture through Visual Hull, Articulated ICP and Subject Specific Model Generation. *International Journal of Computer Vision, 87* (1–2), 156–169. <https://doi.org/10.1007/s11263-009-0284-3>
- Day, J. S., Dumas, G. A. & Murdoch, D. J. (2000). Calibration of position and angular data from a magnetic tracking device. *Journal of Biomechanics, 33* (8), 1039–1045. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(00\)0044-0](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(00)0044-0)
- Deffeyes, J.E., Harbourne, R.T., Stuber, W.A., & Stergiou, N. (2011). Approximate entropy used to assess sitting postural sway of infants with developmental delay. *Infant Behavior and Development, 34*, 81–99. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2010.10.001>
- Disselhorst-Klug, C., Heinze, F., Breitbach-Faller, N., Schmitz-Rode, T., & Rau, G. (2012). Introduction of a method for quantitative evaluation of spontaneous motor activity development with age in infants. *Experimental Brain Research, 218*, 305–313. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3015-x>
- Dusing, S. C., Izzo T.A., Thacker, L.R., & Galloway, J.C. (2014). Postural complexity differs between infant born full term and preterm during the development of early behaviors. *Early Human Development, 90* (3), 149–156. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2014.01.006>
- Dusing, S. C., Thacker, L. R., & Galloway J. C. (2016). Infant born preterm have delayed development of adaptive postural control in the first 5 month of life. *Infant Behavior & Development, 44*, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2016.05.002>
- Dusing, S. C., Thacker, L. R., Stergiou, L., & Galloway J. C. (2013). Early complexity supports development of motor behaviors in the first months of life. *Development Psychobiology, 54* (4), 404–414. <https://doi.org/10.1002/dev.21045>
- Dusing, S.C., & Harbourne, R. T. (2010). Variability in postural control during infancy: implications for development, assessment, and intervention. *Physical Therapy, 90* (12), 1838–1849. <https://doi.org/10.2522/ptj.2010033>
- Einspieler, C., & Precht, H. F. R. (2005). Precht's assessment of general movements: a diagnostic tool for the functional assessment of the young nervous system. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews, 11*, 61–67. <https://doi.org/10.1002/mrdd.20051>

- Fetters, L., Sapir, I., Chen, Y., Kubo, M., & Tronick, E. (2010). Spontaneous kicking in full-term and preterm infants with and without white matter disorder. *Development Psychobiology*, 52 (6), 524–536. <https://doi.org/10.1002/dev.20455>
- Ferrari, F., Plessi, C., Lucaccioni, L., Bertoni, N., Bedetti, L., Ori, L., Berardi, A., Casa, E. D., Lughetti, L. & D'Amico, R. (2019). Motor and Postural Patterns Concomitant with general movements are associated with cerebral palsy at term and fidgety age in preterm infants. *Journal Clinical Medicine*, 8 (8), 1189, <https://doi.org/10.3390/jcm8081189>
- Fortin, M-F. (2009). *Fundamentos e etapas do processo de investigação*. Loures: Lusodidacta
- Gima, H., Ohgi, S., Morita, S., Karasuno, H., Fujiwara, T., & Abe, K. (2011). A dynamical system analysis of the development of spontaneous lower extremity movements in newborn and young infants. *Journal of Physiological Anthropology*, 30 (5), 179–186.
- Gima, H., Shimatani, K., Nakano, H., Watanabe, H., & Taga, G. (2019). Evaluation of fidgety movements of infants based on gestalt perception reflects differences in limb movement trajectory curvature. *Physical Therapy*, 99(6), 701–710. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzz034>
- Grant-Beuttler, M., Heriza, C. B., Palisano, R. J., Wagner, B. R., Miller, D. P., & Karduna, A. (2016). Ankle movements during supine kicking in infants born preterm. *Pediatric Physical Therapy*, 28 (3), 294–302. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000252>
- Hadders-Algra, M. (2004). General movements: a window for early identification of children at high risk for developmental disorders. *Journal Pediatrics*, 145 (2), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2004.05.017>
- Hadders-Algra, M. (2010). Variation and Variability: Key Words in Human Motor Development. *Physical Therapy*, 90 (12), 1823–1837. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100006>
- Hadders-Algra M. (2007). Putative neural substrate of normal and abnormal general movements. *Neuroscience Biobehavioral Reviews*, 31 (8), 1181–1190. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2007.04.009>
- Hadders-Algra M. (2008). Development of postural control. *postural control: A key issue in developmental disorders*. *Clinics in Developmental Medicine*, (179), London: Mac Keith Press, 22–73
- Hadders-Algra M. (2013). Typical and atypical development of reaching and postural control in infancy. *Development Medicine & Child Neurology*, 55 (4), 5–8. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12298>.
- Halek, J., Muckova, A., Svoboda, Z., Janura, M., Marikova, J., Horakova, K., Kantor, L., & Nemcova, N. (2015). Kinematic analysis of preterm newborns' spontaneous movements for postural activity assessment. *Biomedical Papers Medicine Faculty University Palacky Olomouc Czech Repub*, 159 (4), 657–660. <https://doi.org/10.5507/bp.2014.053>

- Habourne, R.T., & Stergiou, N. (2009). Movement variability and the use of nonlinear tools: principles to guide physical therapist practice. *Physical Therapy*, 89 (3), 267–282. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080130>
- Heinze, F., Hesels, K., Breitbach-Faller, N., Schmitz-Rode, T., & Disselhorst-Klug, C. (2010). Movement analysis by accelerometry of newborns and infants for the early detection of movement disorders due to infantile cerebral palsy. *Medicine Biological Engineering and computing*, 48 (8), 765–772. <https://doi.org/10.1007/s11517-010-0624-z>
- Karch, D. Kang, K., Wochner, K., Philippi, H., Hadders-Algra, M. Pietz, J., & Dickhaus, H. (2012). Kinematic assessment of stereotypy in spontaneous movements in infants. *Gait & Posture*, 36, 307–301. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.03.017>
- Kanakogi, Y., & Itakura, S. (2011). Developmental correspondence between action prediction and motor ability in early infancy. *Nature Communications*, 2, 341
- Kjaergard, L. L., Villumsen, J. & Gluud, C. (2001). Reported methodologic quality and discrepancies between large and small randomized trials in meta-analyses. *Annals of Internal Medicine*, 135 (11), 982–9. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-135-11-200112040-00010>
- Kwong, A. K. L., Fitzgerald, T. L. Doyle, L. W., Cheong, J.L.Y. & Spittle, A. J. (2018). Predictive validity of spontaneous early infant movement for later cerebral palsy: a systematic review. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 60 (5), 480–489. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13697>
- Lee, M., & Newell, K.M. (2012). Visual feedback of hand trajectory and the development of infant prehension. *Infant Behavior and Development*, 35, 273–279. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2011.12.004>
- Lee, M, Ranganathan, R., & Newell, K.M. (2011). Changes in object-oriented arm movements that precede the transition to goal-directed reaching in infancy. *Developmental Psychobiology*, 686–693. <https://doi.org/10.1002/dev.20541>
- Lemoine, R., Coroian, C., Mastroianni, T., & Grundfest, W. (2008). Accelerometers for quantification of gait and movement disorders: a perspective review. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 8 (2), 137–152. <https://doi.org/10.1142/S0219519408002656>
- Lersel, P. A. V., Bakker, S. C. M., Jonker, A. J. H. & Hadders-Algra, M. (2016). Does general movements quality in term infants predict cerebral palsy and milder forms of limited mobility at 6 years?. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58(12), 1310–1316. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13228>
- Maletsky, L.P., Sun, J. & Morton, N. A. (2007). Accuracy of an optical active-marker system to track the relative motion of rigid bodies. *Journal of Biomechanics*, 40 (3), 682–685. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.01.017>

- Malta, M., Cardoso, L. O., Bastos, F. I., Magnanini, M.M.F., & Silva, C. M. F. P. (2010). Iniciativa STROBE: subsídios para a comunicação de estudos observacionais. *Revista de Saúde Pública*, 4(3), 559-65. <http://doi.org/10.1590/S0034-89102010000300021>
- Marchi, V., Belmonti, V., Cecchi, F., Coluccini, M., Ghirri, P., Grassi, A., Sabatini, A.M., & Guzzetta, A. (2020). Movement analysis in early infancy: Towards a motion biomarker of age. *Early Human Development*, 142, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2019.104942>
- Marco, R. D., Rossi, S., Patanè, F. & Cappa, P. (2015). Technical quality assessment of an optoelectronic system for movement analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 588, 1-6. <http://doi:10.1088/1742-6596/588/1/012030>
- Mazzarella, J., McNally, M., Chaudhari, A.M.W., Pan, X., & Heathcock, J. C. (2020). Differences in coordination and timing of pre-reaching upper extremity movements may be an indicator of cerebral palsy in infants with stroke: A preliminary investigation. *Clinical Biomechanics*, 73, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.jclinbiomech.2019.12.024>
- Miyagishima, S., Asaka, T., Kamatsuka, K., Kozuka, N., Kobayashi, M., Igarashi, R., Hori, T., & Yoto, Y. (2016). Characteristics of antigravity spontaneous movements in preterm infants up to 3 months of corrected age. *Infant Behavior & Development*, 44, 227-239. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2016.07.006>
- Miyagishima, S., Asaka, T., Kamatsuka, K., Kozuka, N., Kobayashi, M., Igarashi, L., Hori, T., & Tsutsumi H. (2018). Spontaneous movements of preterm infants is associated with outcome of gross motor development. *Brain & Development*, 40 (8): 627-633. <https://doi.org/10.1016/j.braindev.2018.04.007>
- Novak et al. (2017). Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy Advances in Diagnosis and Treatment. *Clinical Review & Education*, 171(9): 897-907. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.1689>
- Ohmura, Y., Gima, H., Watanabe, H., Taga, G., & Kuniyoshi, Y. (2016). Developmental changes in intralimb coordination during spontaneous movements of human infants from 2 to 3 months of age. *Experimental Brain Research*, 234, 2179-2188. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4621-9>
- Philippi, H., Karch, D., Kang, K., Katarzyna, W., Pietz, J., Dickhaus, H., & Hadders-Algra, M. (2014). Computer-based analysis of general movements reveals stereotypies predicting cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 56, 960-967. <https://doi.org/10.1111/dmcn.12477>
- Raphe J. L. & Dail, R. B. (2018). Temperature and Humidity Associated With Artificial Ventilation in the Premature Infant. *Care Neonatal*, 18 (5), 366-377. <https://doi:10.1097/ANC.0000000000000519>

- Sargent, B., Reimann, H., Kuboc, M., & Fetters, L. (2017). Infant intralimb coordination and torque production: Influence of prematurity. *Infant Behavior and Development*, 49, 129-140. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2017.08.009>
- Sargent, B., Kubo, M. & Fetters, L. (2018). Infant discovery learning and lower extremity coordination: influence of prematurity. *Physical & Occupational Therapy in Pediatrics*. 38 (2), 210-225. <https://doi.org/10.1080/01942638.2017.1357065>
- Sargent, B., Scholz, J., Reimann, H., Kubo, M., & Fetters, L. (2015). Development of infant leg coordination: Exploiting passive torques. *Infant Behavior and Development*, 40, 108-121. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2015.03.002>
- Seme-Ciglenecki, P. (2003). Predictive value of assessment of general movements for neurological development of high-risk preterm infants: comparative study. *Croatian Medical Journal*, 44(6), 721-7.
- Shepherd, E., Salam, R. A., Middleton, P., Han, S., Makrides, M., McIntyre, S., Badawi, N. & Crowther, C.A. (2018). Neonatal interventions for preventing cerebral palsy: an overview of Cochrane Systematic Reviews. *Cochrane Database Systematic Reviews*, 6 (6), 1-178. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012409.pub2>
- Soares, L. M. S., Rozane, J.M.S.G. & Carvalho, R. P. (2019). Motor performance of children with cerebral palsy in anterior reach. *Clinical Biomechanics*, 68, 158-162. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.06.007>
- Spittle, A., Orton, J., Anderson, P.J., Boyd, R. & Doyle, L. (2015). Early developmental intervention programmes provided post hospital discharge to prevent motor and cognitive impairment in preterm infants. *Cochrane Database Systematic Reviews*, 24 (11), 1-87. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005495.pub4>
- Støen, R., Songstad, N. T., Silberg, I. E., Fjørtoft, T., Jensenius, A. R., & Adde, L. (2017). Computer-based video analysis identifies infants with absence of fidgety movements. *Pediatric Research*, 82 (4), 665-670. <https://doi.org/10.1038/pr.2017.121>
- Vilas-Boas, M.C. & Cunha, J.P.S. (2016). Movement Quantification in Neurological Diseases: Methods and Applications. *Reviews in Biomedical Engineering*, 9, 15-31. <https://doi.org/10.1109/RBME.2016.2543683>
- Waldmeier, S., Grunt, S., Delgado-Eckert, E., Latzin, P., Steinlin, M., Fuhrer, K., & Frey, U. (2013). Correlation properties of spontaneous motor activity in healthy infants: a new computer-assisted method to evaluate neurological maturation. *Experimental Brain Research*, 227, 433-446. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3504-6>
- Weng, J. Y., Cohen, P., & Herniou, M. (1992). Camera calibration with distortion models and accuracy evaluation. *Transactions on pattern analysis and machine intelligence*. 14 (10), 965-980. <https://doi.org/10.1109/34.159901>
- Zohlandt, C., Walk, L., & Nawara, W. (2012). Classification of Vault Jumps in Gymnastics, 1-9

# Anexo I

## Strobe

CRITÉRIOS STROBE	Título e resumo	Introdução		Métodos			Variáveis	Fontes de dados / Métodos de avaliação/ instrumentos	Viés	Tamanho da amostra	Variáveis quantitativas	Métodos estatísticos	Resultados Principais			Principais Resultados	Outras Análises	Discussão				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Philippi, et al. (2014)																						
Ohmura et al. (2016)																						
Bultmann et al. (2019)																						
Lee et al. (2011)																						
Mazzarella et al. (2020)																						
Marchi, et al. (2020)																						
Karch et al. (2012)																						
Miyagishima et al. (2016)																						
Dusing et al. (2016)																						
Støen et al. (2017)																						
Kanemaru et al. (2014)																						
Fetters et al. (2010)																						
Heinze et al. (2010)																						
Grant- Beuttler (2016)																						
Bertoncelli et al. (2018)																						
Adde et al. (2016)																						
Adde et al. (2017)																						
Sargent et al. (2017)																						
Gonçalves et al. (2013)																						
Sargent et al. (2015)																						
Dusing, et al. (2014)																						
Lee et al. (2012)																						
Miyagishima et al. (2018)																						
Patel et al. (2019)																						
Disselhorst-Klug et al. (2012)																						
Gima et al (2011)																						
Halek et al. (2015)																						
Babik et al. (2017)																						
Gima et al. (2019)																						
Dusing et al. (2013)																						

Nota. A cor vermelha = Ausência do Critério; A cor verde = Presença do Critério

## Anexo II

### Compilação de Critérios da Strobe e Cochrane Systematic Review Handbook

Compilação de Critérios da STROBE e Cochrane Systematic Review Handbook (com base no estudo de Costa, Batistão & Rocha, 2013)	Objetivo do estudo	Hipóteses de trabalho	Desenho de estudo	Detalhes dos Participantes	Métodos de recrutamento	Critérios de Elegibilidade	Fonte	Não participantes	Tamanho da amostra	Descrição dos métodos	Perdas	Resultados (Média e Desvio Padrão)	Resultados IC	Limitações	Resultados
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total 0/14
Philippi, et al. (2014)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Ohmura et al. (2016)	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	11
Bultmann et al. (2019)	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	12
Lee et al. (2011)	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	11
Mazzarella et al. (2020)	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	11
Marchi, et al. (2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	13
Karch et al. (2012)	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	5
Miyagishima et al. (2016)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Dusing et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	13
Støen et al. (2017)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	12
Kanemaru et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	11
Fetters et al. (2010)	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	9
Heinze et al. (2010)	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	6
Grant- Beuttler (2016)	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	11
Bertoncelli et al. (2018)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	9
Adde et al. (2016)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	13
Adde et al. (2017)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	10
Sargent et al. (2017)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
Gonçalves et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	12
Sargent et al. (2015)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
Dusing, et al. (2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	13
Lee et al. (2012)	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	10
Miyagishima et al. (2018)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	11
Patel et al. (2019)	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	11
Disselhorst-Klug et al. (2012)	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	9
Gima et al (2011)	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	7
Halek et al. (2015)	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Babik et al. (2017)	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	7
Gima et al. (2019)	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	11
Dusing et al. (2013)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	13

Nota. 1= Presente 0= Ausente