

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA**

Marcelo Romanzini

**DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DE LIMIARES DE
ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE
DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES**

Florianópolis
2012

Marcelo Romanzini

**DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DE LIMIARES DE
ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE
DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Orientador: Edio Luiz Petroski

Florianópolis
2012

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

R761d Romanzini, Marcelo

Determinação e validação de limiares de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em adolescentes [tese] / Marcelo Romanzini ; orientador, Edio Luiz Petroski. - Florianópolis, SC, 2012.

135 p.: grafs., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Desportos. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

Inclui referências

1. Educação física. 2. Acelerômetros. 3. Calibração. 4. Exercícios físicos. 5. Jovens. I. Petroski, Edio Luiz. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. III. Título.

CDU 796

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO FÍSICA

A tese: **DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DE LIMIARES DE ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES**

Elaborada por: Marcelo Romanzini

e aprovada em 29/02/2012, por todos os membros da Banca Examinadora, foi aceita pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física do Centro de Desportos da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Educação Física.

Área de concentração
Cineantropometria e Desempenho Humano

Florianópolis, 29 de fevereiro de 2012.

Prof. Dr. Fernando Diefenthaeler
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Educação Física

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Édio Luiz Petroski (Orientador)

Prof. Dr. Felipe Fossati Reichert

Prof. Dr. Dartagnan Pinto Guedes

Prof. Dr. Adair da Silva Lopes

Prof. Dr. Luiz Guilherme Antonacci Guglielmo

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Londrina, especificamente ao Departamento de Educação Física, à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e à Pró-Reitoria de Recursos Humanos, pelo apoio a mim concedido ao longo do processo de doutoramento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina, pelo acolhimento, suporte e valiosa contribuição para minha formação profissional em nível de mestrado e doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio concedido para a concretização desta pesquisa mediante recursos do Edital Universal.

Ao Centro de Excelência Esportiva do Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina, na figura do Prof. Dr. Antonio Carlos Dourado, pelo irrestrito apoio logístico concedido durante todo o processo de coleta de dados.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Edio Luiz Petroski, por me abrir as portas do doutorado, mas, sobretudo, pela paciência, disponibilidade e aconselhamentos, os quais contribuíram para meu amadurecimento profissional.

Ao Prof. Dr. Felipe Fossati Reichert, pelo companheirismo e pela parceria acadêmica estabelecida ao longo dos últimos anos.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Luiz Antonacci Guglielmo, Prof. Dr. Adair da Silva Lopes e Prof. Dartagnan Pinto Guedes, que gentilmente aceitaram o convite para avaliar e contribuir para a versão final deste trabalho.

Ao amigo David Ohara, companheiro inseparável em todos os momentos do período de coleta de dados e que de forma intocável conduziu todo o processo de avaliação do gasto energético por meio da calorimetria.

Aos alunos do curso de graduação (Educação Física e Esporte) e de mestrado da Universidade Estadual de Londrina, especialmente

Bruna Seron, Isaías da Silva Ramos e Danilo Rodrigues Pereira da Silva, pelo auxílio concedido durante a realização das coletas de dados.

Aos Professores Amador C. Batista Filho e Augusto R. Silva, pelo suporte oferecido para a divulgação da pesquisa e agendamento de horários de avaliação junto aos alunos do colégio ao qual ministram, de forma competente, a disciplina de Educação Física.

A todos os colegas do NuCIDH (em especial Diego, Andreia, Herton e Elisa), pelo apoio e disponibilidade em todos os momentos de dificuldade.

Aos meus pais (Eusebio e Marli), irmãs (Simone e Juliana) e amigos, pelo apoio incondicional.

Finalmente, agradeço a minha esposa (Catiana Leila Possamai Romanzini) e a minha filha (Giulia Marcelle Romanzini), que pacientemente esperaram pela conclusão deste trabalho. Obrigado pelo amor e pelo carinho que vocês me deram ao longo destes difíceis anos.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ANEXOS	x
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
Capítulo 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua relevância	
1.2 Objetivos do estudo	
1.3 Definição de termos	
1.4 Estruturação da tese	
Capítulo 2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Características gerais dos acelerômetros	
2.1.1 Conceitos relacionados à acelerometria	
2.1.2 Classificação e características de acelerômetros	
2.1.3 Acelerômetros: vantagens e limitações	
2.1.4 Reprodutibilidade de acelerômetros	
2.2 Calibração de acelerômetros em crianças e adolescentes	
2.2.1 ActiGraph	
2.2.1.1 Calibração do ActiGraph em pré-escolares	
2.2.1.2 Calibração do ActiGraph em crianças e adolescentes	
2.2.2 Actical	
2.2.2.1 Calibração do Actical em pré-escolares	
2.2.2.2 Calibração do Actical em crianças e adolescentes	
2.2.3 RT3	
2.2.4 Outros modelos de acelerômetros	
2.2.5 Calibração simultânea de diferentes modelos de acelerômetros	
2.3 Calibração de acelerômetros em jovens: aspectos metodológicos	

	2.3.1 Tamanho e características da amostra	
	2.3.2 Protocolo de atividades físicas	
	2.3.3 Uso de múltiplas unidades de acelerômetros	
	2.3.4 Tamanho do epoch	
	2.3.5 Critérios adotados para determinar a intensidade da atividade física	
	2.3.6 Procedimento estatístico	
Capítulo 3	LIMIARES DE ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA.....	55
	3.1 Introdução	
	3.2 Métodos	
	3.3 Resultados	
	3.4 Discussão	
	3.5 Referências	
Capítulo 4	VALIDAÇÃO DE LIMIARES DO ACELERÔMETRO ACTIGRAPH PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES BRASILEIROS.....	77
	4.1 Introdução	
	4.2 Métodos	
	4.3 Resultados	
	4.4 Discussão	
	4.5 Referências	
Capítulo 5	CALIBRAÇÃO DOS ACELERÔMETROS ACTIGRAPH GT3X, ACTICAL E RT3 EM ADOLESCENTES.....	95
	5.1 Introdução	
	5.2 Métodos	
	5.3 Resultados	
	5.4 Discussão	
	5.5 Referências	
Capítulo 6	CONCLUSÕES.....	115

REFERÊNCIAS.....	117
ANEXOS.....	131

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Características gerais de acelerômetros de diferentes fabricantes.....	10
Tabela 2.	Reprodutibilidade dos acelerômetros ActiGraph, Actical e RT3 em protocolos mecânicos e de AF diária.....	15
Tabela 3.	Modelos de predição derivados de estudos de calibração do ActiGraph com crianças e adolescentes.....	19
Tabela 4.	Limiares do ActiGraph para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.....	21
Tabela 5.	Modelos de predição derivados de estudos de calibração do Actical com crianças e adolescentes.	29
Tabela 6.	Limiares do Actical para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.....	30
Tabela 7.	Modelos de predição derivados de estudos de calibração do RT3 com crianças e adolescentes.....	33
Tabela 8.	Limiares do RT3 para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.....	34
Tabela 9.	Modelos de predição derivados de estudos de calibração com diferentes tipos de acelerômetros...	38
Tabela 10.	Limiares para diferentes tipos de acelerômetros destinados à estimativa da intensidade da atividade física.....	40

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1.	Certidão do comitê de ética.....	132
Anexo 2.	Termo de consentimento livre e esclarecido.....	134

RESUMO

DETERMINAÇÃO E VALIDAÇÃO DE LIMIARES DE ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES

Autor: Marcelo Romanzini

Orientador: Edio Luiz Petroski

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de derivar limiares para valores de *counts* de três modelos de acelerômetros (ActiGraph GT3X, Actical e RT3) e testar a validade de cinco conjuntos de limiares da versão uniaxial do acelerômetro ActiGraph para distinguir diferentes intensidades da atividade física em adolescentes. Setenta e nove adolescentes de 10 a 15 anos de idade participaram do estudo. Dados de *counts* dos acelerômetros e de consumo de oxigênio (VO_2) foram coletados em repouso e em onze atividades físicas de diferentes intensidades. Os três acelerômetros foram posicionados na cintura e o VO_2 foi mensurado pelo sistema metabólico portátil Cosmed K4b2. Escores de MET's foram computados individualmente e adotados como critérios para: a) derivar limiares relacionados às atividades sedentárias (SED), leves (LEV), moderadas a vigorosas (MOD) e vigorosas (VIG) para os acelerômetros ActiGraph (GT3X), Actical e RT3 e; b) validar limiares da versão uniaxial do ActiGraph propostos por Evenson et al., Mattocks et al., Puyau et al., Treuth et al. e Vanhelst et al. *Receiver Operating Characteristic Curves* (ROC) foram utilizadas para determinar limiares para os três modelos de acelerômetros no ponto onde a sensibilidade e a especificidade foram maximizadas. A validade dos cinco conjuntos de limiares foi testada por curvas ROC e coeficientes ponderados de Kappa (κ). O alcance dos limiares para SED, LEV, MOD e VIG foi de 0-180, 181-756, 757-1111 e >1111 *counts*. 15 s^{-1} para o vetor magnitude do ActiGraph, 0-17, 18-440, 441-872 e >872 *counts*. 15 s^{-1} para o Actical e 0-5.6, 5.7-20.3, 20.4-32,1 e >32.1 *counts*. s^{-1} para o vetor magnitude do RT3, respectivamente. Para os três acelerômetros foi observada uma discriminação quase perfeita das SED e das MOD (ROC $> 0,97$) e excelente discriminação das VIG (ROC $> 0,90$). Áreas sob a curva ROC indicaram melhor discriminação das MOD pelo ActiGraph e Actical quando comparados ao RT3 (P $<0,05$). A predição das intensidades não foi melhorada quando as análises foram estratificadas por idade e sexo. Quanto à validação dos conjuntos de limiares da versão uniaxial do ActiGraph, limiares propostos por

Evenson et al. e Vanhelst et al. apresentaram melhor concordância ($\kappa=0,84$ e $0,82$) que aqueles propostos por Mattocks et al. e Puyau et al. ($\kappa=0,78$ e $0,70$). Em geral, acurácia de classificação das SED e MOD foi excelente ($ROC>0,90$). Limiares de Evenson et al., Treuth et al. e Mattocks et al. exibiram melhor predição das SED que limiares de Vanhelst et al. e Puyau et al. ($P<0,0001$). Para MOD, limiar de Mattocks et al. apresentou menor acurácia que os demais limiares ($P<0,01$). A predição das VIG pelos limiares de Evenson et al. e Vanhelst et al. foi boa ($ROC=0,88$ e $0,89$) e significativamente melhor que Treuth et al., Mattocks et al. e Puyau et al. ($ROC=0,57$ a $0,78$). Coletivamente, limiares de Evenson et al. estiveram associados às melhores estimativas das SED, MOD e VIG. Em conclusão, os limiares derivados no presente estudo para os acelerômetros ActiGraph GT3X, Actical e RT3 apresentaram elevada capacidade de predição da intensidade da atividade física e podem ser utilizados para monitorar a atividade física habitual de adolescentes. Dentre os limiares existentes para a versão uniaxial do ActiGraph, limiares de Evenson et al. demonstraram melhores indicadores de validade e são recomendados para a estimativa da intensidade da atividade física em adolescentes.

Palavras-chave: Acelerometria. Sensores de movimentos. Medidas objetivas. Calibração. Validade. Comportamento sedentário. Atividade física moderada. Atividade física vigorosa. Jovens.

ABSTRACT

DETERMINATION AND VALIDATION OF ACCELEROMETER THRESHOLDS FOR ESTIMATING THE PHYSICAL ACTIVITY INTENSITY IN ADOLESCENTS

Author: Marcelo Romanzini

Advisor: Edio Luiz Petroski

The present study was developed with the aim of determining thresholds for values of counts of three accelerometer models (ActiGraph GT3X, Actical and RT3) and test the validity of five sets of thresholds for the uniaxial version of the ActiGraph accelerometer to distinguish different physical activity intensities among adolescents. Seventy-nine adolescents aged 10 to 15 years participated in the study. Data from accelerometer counts and oxygen consumption (VO_2) were collected at rest and at eleven different physical activity intensities. The three accelerometers were positioned at the adolescents' waist and VO_2 was measured using the Cosmed K4b2 portable metabolic system. MET's scores were individually computed and adopted as criteria to: a) determine thresholds related to sedentary (SED), light (LEV), moderate to vigorous (MOD) and vigorous activities (VIG) for ActiGraph (GT3X) Actical and RT3 accelerometers and b) validate thresholds for the uniaxial version of the ActiGraph accelerometer proposed by Evenson et al., Mattocks et al., Puyau et al., Treuth et al. and Vanhelst et al. Receiver Operating Characteristic Curves (ROC) were used to determine thresholds for the three accelerometer models at the point where sensitivity and specificity were maximized. The validity of the five sets of thresholds was tested by ROC curves and weighted kappa coefficients (κ). The range of thresholds for SED, LEV, MOD and VIG were 0-180, 181-756, 757-1111 and > 1111 counts. 15 s^{-1} for the magnitude vector of ActiGraph accelerometer, 0-17, 18-440, 441 -872 and > 872 counts. 15 s^{-1} for Actical and 0-5.6, 5.7-20.3, 20.4-32.1 and > 32.1 counts. s^{-1} for the magnitude vector of RT3, respectively. For the three accelerometers, an almost perfect discrimination of SED and MOD (ROC > 0.97) and excellent discrimination of VIG (ROC > 0.90) was observed. Areas under the ROC curves indicated better discrimination of MOD by ActiGraph and Actical when compared to RT3 ($P < 0.05$). The prediction of intensities was not improved when the analyses were stratified by age and sex. In relation to the validation of the sets of thresholds for the uniaxial version of ActiGraph, thresholds proposed by

Evenson et al. and Vanhelst et al. showed better agreement ($\kappa = 0.84$ and 0.82) than those proposed by Mattocks et al. and Puyau et al. ($\kappa = 0.78$ and 0.70). In general, the classification accuracy of SED and MOD was excellent ($\text{ROC} > 0.90$). Thresholds proposed by Evenson et al., Treuth et al. and Mattocks et al. showed better prediction of SED than those proposed by Vanhelst et al. and Puyau et al. ($P < 0.0001$). For MOD, Mattocks et al. threshold showed lower accuracy than the other thresholds ($P < 0.01$). The prediction of VIG by Evenson et al. and Vanhelst et al. thresholds was good ($\text{ROC} = 0.88$ and 0.89) and significantly better than by Treuth et al., Mattocks et al. and Puyau et al. ($\text{ROC} = 0.57$ to 0.78). Altogether, Evenson et al. thresholds were associated with better estimates of SED, MOD and VIG. In conclusion, the thresholds derived in this study for ActiGraph GT3X, Actical and RT3 accelerometers showed high capacity for predicting physical activity intensity and can be used to monitor the usual physical activity intensity in adolescents. Among the existing thresholds for the uniaxial version of the ActiGraph accelerometer, Evenson et al. thresholds showed better validity indicators and are recommended for estimating the physical activity intensity in adolescents.

Keywords: Accelerometry. Motion sensors. Objective measures. Calibration. Validity. Sedentary behavior. Moderate physical activity. Vigorous physical activity. Young.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 O problema e sua relevância

A atividade física na infância e na adolescência se constitui como um importante tema de saúde pública, visto que continuamente novas evidências surgem confirmando a relação inequívoca entre este comportamento e diferentes desfechos em saúde(1-4). Ressalta-se, entretanto, que a magnitude dessas relações pode variar consideravelmente em jovens, em função do método utilizado para a avaliação da atividade física(5). Nesse sentido, um melhor entendimento da relação dose-resposta entre a atividade física e indicadores de saúde, bem como o monitoramento de tendências em populações e a avaliação de intervenções voltadas a um estilo de vida mais ativo, perpassam pelo uso de medidas válidas da atividade física(6).

Dentro desse contexto, a atividade física é entendida como um comportamento complexo e multidimensional difícil de ser medido(7). Esta tarefa é ainda mais complexa em crianças e adolescentes, uma vez que o padrão de atividade física deste grupo populacional tende a ser mais intermitente e de mais variada intensidade do que aquele observado em adultos(8-9). Assim, a literatura tem descrito uma diversidade de métodos e técnicas destinados à medida da atividade física em jovens(10-14) e, tradicionalmente, métodos subjetivos como os instrumentos do tipo *self-report* são empregados para a estimativa da quantia total de atividades físicas diárias ou semanais(15-16). Apesar de algumas reconhecidas vantagens, instrumentos do tipo *self-report* não apresentam indicadores de validade aceitáveis em crianças e adolescentes(17-19), não são capazes de distinguir precisamente o comportamento sedentário das atividades de intensidade leve(20) e tendem a reduzir as medidas de efeito em estudos de associação(21).

Diante das limitações inerentes aos instrumentos do tipo *self-report*, a acelerometria tem se consolidado como o método objetivo de medida da atividade física mais comumente utilizado em jovens(22). Na última década, o número de publicações envolvendo a acelerometria em estudos com crianças e adolescentes aumentou de forma exponencial (Figura 1). Acelerômetros são dispositivos eletrônicos que medem a aceleração do movimento corporal(23) e permitem quantificar de forma objetiva a frequência, duração e intensidade da atividade física. Apesar de não fornecer informações sobre o contexto em que as atividades são

realizadas(24) e de não medir corretamente determinadas atividades(12), o uso de acelerômetros em crianças e adolescentes evita o viés de informação, permite melhorar o entendimento da relação entre atividade física, comportamento sedentário e saúde, além de identificar achados que não são perceptíveis pelo uso de medidas subjetivas(25).

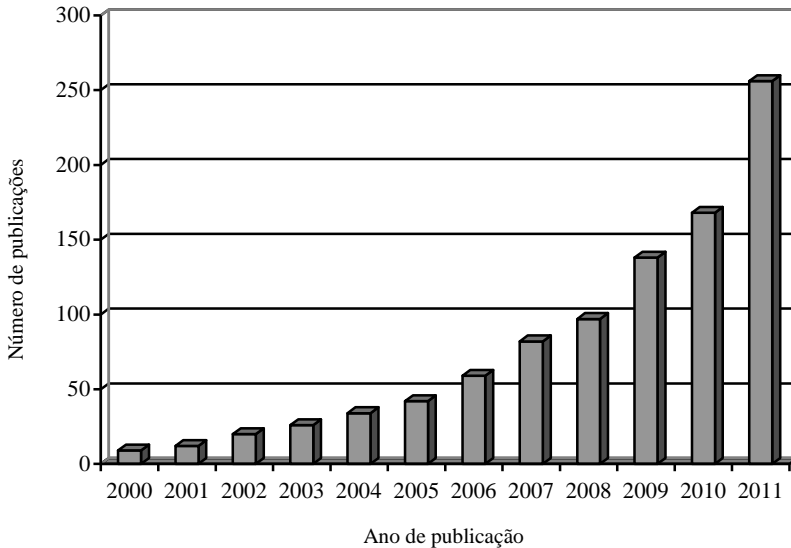


Figura 1. Número de publicações envolvendo acelerômetros, atividade física e crianças/adolescentes por ano na base de dados PubMed

Embora apresente reconhecida validade, a falta de padronização quanto aos procedimentos empregados durante os processos de coleta, análise e interpretação de dados têm se constituído como um importante problema relacionado ao emprego da acelerometria(22, 25-27). Uma das principais controvérsias se refere à tradução da medida do acelerômetro (*counts*) em uma informação com significado biológico ou comportamental(28). Este processo é denominado de calibração e envolve a identificação de limiares relacionados à intensidade da atividade física, ou, a transformação dos valores de *counts* em unidades de gasto energético, a partir do uso de métodos de referência como a calorimetria ou a observação direta. Destaca-se que a relação entre *counts* e medidas biológicas ou comportamentais pode ser influenciada

por parâmetros físicos e fisiológicos(28). Além disso, a coleta e armazenamento de dados diferem entre os modelos de acelerômetros(23). Assim, limiares e/ou modelos de predição do gasto energético devem ser específicos à população (crianças/adolescentes, adultos) e ao modelo/fabricante do acelerômetro.

Dentre os diferentes modelos de acelerômetros disponíveis comercialmente, o ActiGraph tem sido o mais utilizado(29) e limiares relacionados à intensidade da atividade física têm sido derivados em amostras de pré-escolares(30-33), crianças e adolescentes(34-38). No entanto, os procedimentos metodológicos adotados nestes estudos variaram amplamente, contribuindo para a identificação de limiares discrepantes em cada intensidade da atividade física. Especificamente para crianças e adolescentes (6 a 18 anos), limiares para *counts* do ActiGraph têm oscilado entre 100 e 800 *counts.min*⁻¹ para determinação das atividades sedentárias, 1900 e 3600 *counts.min*⁻¹ para atividades de intensidade moderada a vigorosa e 3900 e 8200 *counts.min*⁻¹ para atividades físicas vigorosas.

A existência de múltiplos e discordantes limiares tem dificultado o melhor entendimento da associação entre a intensidade da atividade física e saúde(39) e limitado a comparabilidade das taxas de prevalência de atividade física, uma vez que o tempo gasto por crianças e adolescentes em atividades sedentárias e de intensidades moderada e vigorosa difere drasticamente conforme o conjunto de limiares utilizado(25, 40-44). Para ilustrar, em estudos com acelerometria, a prevalência de jovens suficientemente ativos varia consideravelmente entre 0,4 e 97,6% conforme o limiar adotado para a definição das atividades de intensidade moderada a vigorosa(45-50).

É importante realçar que não há um consenso quanto a quais devem ser os limiares do ActiGraph em crianças e adolescentes. Adicionalmente, um único estudo(51) testou, em jovens (5 a 15 anos), a validade de limiares do ActiGraph contra medidas critério da intensidade da atividade física. Este quadro realça a necessidade de estudos de validação com o intuito de subsidiar a escolha de limiares mais apropriados para a determinação das diferentes intensidades da atividade física, bem como contribuir para uma uniformização do uso destes limiares por parte de pesquisadores que utilizam a acelerometria como método de medida da atividade física em crianças e adolescentes.

A maioria dos limiares existentes para o ActiGraph foram desenvolvidos mediante a utilização dos modelos uniaxiais 7164 e GT1M. Embora o eixo ântero-posterior do GT1M tenha sido desbloqueado na segunda geração deste modelo, limiares elaborados a

partir do GT1M utilizaram informações obtidas apenas junto ao eixo vertical. Atualmente, a versão comercialmente disponível do ActiGraph é o modelo GT3X. Este modelo possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior) podendo combinar esta informação em uma medida triaxial denominada vetor magnitude. Assim, embora as informações de aceleração registradas pelo eixo vertical do GT1M e do GT3X sejam comparáveis(52), para explorar a medida triaxial do GT3X, limiares para o vetor magnitude deste modelo são necessários.

O Actical e o RT3 são outros dois modelos de acelerômetros comumente utilizados na literatura(22). Entretanto, o número de limiares para estes acelerômetros ainda é reduzido quando comparados àqueles existentes para o ActiGraph. Por exemplo, estudos de calibração do Actical com crianças e adolescentes (6 a 18 anos)(34, 53-54) forneceram apenas dois limiares para atividades sedentárias (44 e 100 *counts.min⁻¹*), além de três relacionados às atividades moderadas (1500, 1600 e 2016 *counts.min⁻¹*) e vigorosas (2876, 4760 e 6500 *counts.min⁻¹*). Os estudos de calibração do RT3(55-58), por sua vez, derivaram somente dois limiares para atividades sedentárias (40 e 420 *counts.min⁻¹*), além de quatro para as atividades moderadas e vigorosas que variaram entre 951 e 1860 *counts.min⁻¹* e 2333 e 4110 *counts.min⁻¹*, respectivamente.

Assim, considerando a escassez de limiares para *counts* dos acelerômetros Actical e RT3 e as divergências apresentadas por estes, o desenvolvimento de novos estudos de calibração podem fornecer indicativos quanto ao uso de limiares para ambos os acelerômetros, à medida que os limiares a serem identificados se aproximarem daqueles previamente publicados.

Diante das informações supracitadas, este estudo tem como objetivos calibrar três diferentes modelos de acelerômetros (ActiGraph GT3X, Actical e RT3) e testar a validade de limiares da versão uniaxial do acelerômetro ActiGraph para distinguir diferentes intensidades da atividade física em adolescentes.

1.2 Objetivos do estudo

- 1) revisar sistematicamente a literatura para verificar a validade e a generalidade dos limiares de *counts* de diversos modelos de acelerômetros em distinguir as diferentes intensidades de atividade física em crianças e adolescentes;

- 2) verificar a validade de cinco conjuntos de limiares do acelerômetro ActiGraph para a identificação de diferentes intensidades da atividade física em adolescentes, utilizando a calorimetria indireta como método de referência;
- 3) derivar limiares para valores de *counts* dos acelerômetros ActiGraph GT3X, Actical e RT3 destinados à identificação do comportamento sedentário e das atividades físicas de intensidades leves, moderadas e vigorosas em adolescentes de 10 a 15 anos de idade.

1.3 Definição de termos

Atividade física: qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos que resultam em gasto energético(59).

Acelerômetros: dispositivos eletrônicos que medem o movimento corporal em termos de aceleração, podendo estimar a intensidade da atividade física sobre o tempo(23).

Counts: unidade de medida do acelerômetro, definida como reflexo linear da soma da amplitude da voltagem detectada (ou seja, uma medida escalar da magnitude de um sinal de onda de oscilação)(60).

Epoch: período de tempo no qual *counts* registrados pelos acelerômetros são armazenados(23).

Calibração de acelerômetros: tradução do sinal do acelerômetro (*counts*) em uma métrica que é ancorada em alguma variável biológica ou em um padrão específico de atividade física(28).

Atividade sedentária: atividade física que envolve gasto energético em nível de 1,0 a 1,5 unidades metabólicas de repouso (MET's)(20, 61).

Atividade física moderada a vigorosa: atividade física realizada em um nível de intensidade igual ou maior a 3 MET's(62).

Atividades físicas vigorosas: atividade física realizada em um nível de intensidade igual ou maior a 6 MET's(62).

1.4 Estruturação da tese

Em consonância com a norma 02/2008 do Programa de Pós-Graduação em Educação Física da Universidade Federal de Santa Catarina que estabelece as instruções e procedimentos normativos para a elaboração e defesa de dissertações e teses, esta tese foi elaborada e redigida no formato alternativo. Assim, considerando o artigo 11 e o inciso 3º da norma vigente, a tese foi estruturada em seis capítulos, sendo um capítulo introdutório, um capítulo de revisão de literatura expandida, três capítulos relacionados aos artigos submetidos para periódicos pertencentes aos extratos superiores do Qualis Capes da área da Educação Física, além de um capítulo contendo as conclusões do estudo.

A normalização dos capítulos 1, 2 e 6 quanto às citações e referências bibliográficas segue as normas de Vancouver. Os capítulos 3, 4 e 5 estão relacionados aos objetivos específicos do estudo e obedecem às padronizações dos periódicos aos quais os artigos foram submetidos quanto à forma de citação e de apresentação das referências bibliográficas. Para fins de padronização, os demais aspectos destes capítulos vinculados à normalização do documento (tipo de fonte, espaçamento, quadros, tabelas e figuras) estão em conformidade com os capítulos 1, 2 e 6.

CAPÍTULO 2

2 REVISÃO DE LITERATURA

O referencial teórico está subdividido em três seções. A primeira seção apresenta os conceitos relacionados à acelerometria, classificação e descrição dos modelos de acelerômetros calibrados em crianças e adolescentes, vantagens e limitações, bem como os indicadores de reprodutibilidade destes equipamentos. A segunda seção apresenta os estudos de calibração de acelerômetros realizados com crianças e adolescentes. Finalmente, a terceira seção relata uma série de considerações metodológicas sobre os estudos de calibração de acelerômetros envolvendo crianças e adolescentes.

2.1 Características gerais dos acelerômetros

2.1.1 Conceitos relacionados à acelerometria

Acelerômetros são dispositivos eletrônicos sofisticados que medem a aceleração produzida pelo movimento corporal(13). Conceitualmente, a aceleração é definida como a alteração na velocidade sobre o tempo(28), sendo diretamente proporcional à rede de força externa envolvida(23). Em termos práticos, a cada movimento os segmentos corporais sofrem processos de aceleração e desaceleração. Quando o acelerômetro é fixado ao corpo, as acelerações destes segmentos são detectadas e transformadas em um sinal digital mediante a utilização de tradutores elétricos ou microprocessadores(29). Assim, os acelerômetros podem ser empregados para medir a atividade física, visto que são capazes de avaliar a magnitude e o volume total do movimento em função do tempo(63).

Chen e Bassett Jr.(23) apresentaram uma descrição detalhada dos princípios e das propriedades mecânicas dos sensores contidos nos acelerômetros, bem como a forma de aquisição, processamento e armazenamento das informações registradas por estes sensores de movimento. Basicamente, os acelerômetros utilizam um ou múltiplos sensores de movimentos com o intuito de detectar as acelerações nos diferentes eixos corporais. O sensor usado por muitos instrumentos consiste de um elemento piezelétrico e uma massa sísmica dentro de um estojo fechado. Quando o sensor é exposto a uma aceleração, a massa sísmica provoca uma deformação do elemento piezelétrico. Esta deformação produz uma desordenada carga elétrica formada sobre um

lado do sensor, gerando um sinal de voltagem que é proporcional à aceleração aplicada. Estes sinais de voltagem são convertidos em valores numéricos sem unidade de medida definida, denominados de *counts*(23). *Counts* são definidos como um reflexo linear da soma da amplitude da voltagem detectada(60) e são considerados parâmetros arbitrários que dependem da especificação de cada tipo de acelerômetro(23), o que limita a comparação dos seus valores entre acelerômetros de diferentes fabricantes.

Os valores de *counts* registrados pelos acelerômetros são somados e armazenados sobre um determinado período de tempo chamado de *epoch* ou intervalo de amostragem(23). Dependendo do modelo do acelerômetro, o tamanho do *epoch* pode variar entre um segundo e vários minutos. A escolha de um determinado tamanho de *epoch* pode afetar diretamente as interpretações das informações obtidas pelos acelerômetros. *Epochs* de curta duração permitem registrar mais precisamente as atividades físicas intermitentes realizadas em curtos períodos de tempo. Por outro lado, *epochs* mais prolongados podem combinar duas atividades físicas de intensidades diferentes e gerar uma informação que refletirá a média de intensidade destas atividades(23). A escolha do tamanho do *epoch* também deve considerar o tamanho da memória dos acelerômetros. Alguns modelos de acelerômetros são capazes de coletar informações em intervalos de amostragem de um segundo por no máximo nove horas(64), limitando assim a medida da atividade física ao longo de um dia.

2.1.2 Classificação e características de acelerômetros

Os modelos de acelerômetros comercialmente disponíveis são classificados em uniaxiais, unidirecionais ou triaxiais. Esta classificação é baseada na capacidade dos acelerômetros em medir a aceleração do movimento em um ou mais planos ortogonais (vertical, médio-lateral e ântero-posterior). Os acelerômetros uniaxiais são normalmente usados de um modo que o eixo sensível é orientado no plano vertical. Acelerômetros unidirecionais são mais sensíveis ao plano vertical, embora sejam capazes de sentir a aceleração também em outros planos ou direções(23). Os acelerômetros triaxiais, por sua vez, são capazes de medir a aceleração em cada um dos três planos ortogonais, fornecendo informações para cada plano separadamente, bem como de maneira combinada de todos os planos(22).

Alternativamente, outros modelos de acelerômetros têm utilizado duas diferentes estratégias com o intuito de aprimorar as

medidas da atividade física em relação aos acelerômetros mais tradicionais. A primeira estratégia consiste no uso de múltiplos sensores fixados em diferentes segmentos corporais(23). Este procedimento apresenta potencial para detectar alterações posturais e movimentos lentos, suprindo assim uma das principais limitações dos acelerômetros tradicionais. No entanto, os acelerômetros que empregam esta tecnologia contêm muitos fios e apresentam alto custo operacional, o que desencoraja a sua aplicação em estudos de campo e de validação(23). A segunda estratégia consiste em combinar informações da acelerometria com parâmetros fisiológicos, tais como a frequência cardíaca, resposta galvânica da pele, temperatura da pele e taxa de calor(23). Os acelerômetros Actiheart (CamNtech, Cambridge, UK) e SenseWear Pro Armband (Bodymedia Inc., Pittsburgh, PA) foram desenvolvidos com esta finalidade e também têm sido calibrados em jovens(65-68).

Até o presente momento, onze diferentes modelos de acelerômetros foram calibrados em amostras que envolveram crianças e/ou adolescentes. Estes acelerômetros apresentam características bastante diferentes no que se refere às dimensões físicas, peso, tipo de medida fornecida, capacidade de armazenamento das informações coletadas e local de fixação (Tabela 1). De uma maneira geral, os acelerômetros ActiGraph (anteriormente conhecido como *Computer Science and Applications* - CSA), RT3 (anteriormente conhecido como Tritac R3D) e Actical têm sido os mais empregados nestes estudos de calibração. As principais características destes acelerômetros serão descritas a seguir.

O ActiGraph (MTI Health Services, Fort Walton Beach, FL), modelo 7164, é um acelerômetro uniaxial sensível à aceleração vertical, leve (43 gramas) e com pequenas dimensões (5,1 x 3,8 x 1,5 centímetros)(32). Este modelo possui uma memória de acesso randômico (RAM) interna de 64 Kbytes que permite armazenar dados durante 22 dias mediante o emprego de *epochs* de um minuto(23). O intervalo de amostragem é definido pelo próprio usuário e pode variar entre um segundo e um minuto. A versão GT1M sucedeu o modelo 7164. Este modelo possui dimensões (3,8 x 3,7 x 1,8 centímetros) e peso (27 gramas) menores em relação ao modelo anterior, além de maior capacidade de armazenamento das informações (356 dias em *epochs* de 1 minuto)(29).

Tabela 1. Características gerais de acelerômetros de diferentes fabricantes

Acelerômetro	Tipo	Medidas	Armazenagem de dados*	Local de fixação	Tamanho (cm)	Peso (g)
ActiGraph 7164*	Uniaxial	<i>Counts</i> , passos, GE	22 dias	Cintura, pulso e tornozelo	5,1 x 3,8 x 1,5	43
ActiGraph GT1M*	Uniaxial	<i>Counts</i> , passos, GE	356 dias	Cintura, pulso e tornozelo	3,8 x 3,7 x 1,8	27
ActiGraph GT3X	Triaxial	<i>Counts</i> , vetor magnitude, passos, posição do corpo	400 dias	Cintura, pulso e tornozelo	3,8 x 3,7 x 1,8	27
Actical	Unidirecional	<i>Counts</i> , passos, GE	45 dias	Cintura, pulso e tornozelo	2,8 x 2,7 x 1,0	17
Actiwatch	Unidirecional	<i>Counts</i>	11 dias	Cintura, pulso e tornozelo	2,8 x 2,7 x 1,0	16
RT3	Triaxial	<i>Counts</i> , vetor magnitude, GE	21 dias	Cintura	7,1 x 5,6 x 2,8	65,2
Tritac-R3D*	Triaxial	<i>Counts</i> , vetor magnitude, GE	14 dias	Cintura	10,8 x 6,8 x 3,3	170,4
BioTrainer Pro	Biaxial	<i>Counts</i> , gasto energético	22 dias	Cintura	7,6 x 5,1 x 1,9	55
Actiheart	Unidirecional	FC, variabilidade FC	11 dias	Peito	33 x 7 mm	10
SenseWear	Triaxial	Passos, GE, dados fisiológicos, posição do corpo	28 dias	Braço	?	

continua

continuação da Tabela 1

3dNX TM	Triaxial	<i>Counts</i>	?	Cintura	12,5 x 5,8 x 0,8	93
ActivTracer	Triaxial	<i>Counts</i>	?	Cintura	7,0 x 5,0 x 1,5	57
MML	Triaxial	<i>Counts</i>	22 dias	Cintura e pulso	?	25,5
ActiReg	?	Movimento e posição do corpo	> 30 dias	Cintura	85x45x15 mm	60

* Armazenamento de informações para *epochs* de 1 minuto; *não disponível comercialmente; GE = gasto energético; FC = frequência cardíaca; “?” = informação não disponível.

Recentemente, um novo modelo de acelerômetro foi desenvolvido pela ActiGraph com importantes modificações em relações às versões anteriores. O modelo GT3X (ActiGraph LLC, Pensacola, Fla, USA) (27 gramas e 3,8 x 3,7 x 1,8 centímetros) possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior) e as combinam em uma medida denominada de vetor magnitude. Este acelerômetro registra acelerações em uma magnitude de 0,05 a 2,5 G's. O sinal é digitalizado e passa por um filtro que limita a frequência a uma variação de 0,25 a 2,5 Hz. O *epoch* do GT3X pode variar de 1 a 360 segundos. A capacidade de armazenamento de informações é de quatro megabytes, o que permite armazenar dados por mais de um ano. Outra novidade em relação às versões anteriores se refere à inclusão de um inclinômetro para determinar a posição do indivíduo e identificar períodos em que o acelerômetro tenha sido removido do corpo(69).

Destaca-se que para crianças e adolescentes, os modelos de estimativa do gasto energético e os limiares relacionados à intensidade da atividade física disponíveis na literatura para o ActiGraph foram desenvolvidos a partir do uso das versões 7164 e GT1M. No entanto, atualmente, apenas o modelo GT3X está disponível comercialmente. Comparativamente, Sasaki et al.(52) não observaram diferenças nos valores de *counts* do eixo vertical do GT3X e do GT1M durante atividades de deslocamento realizadas em esteira rolante em quatro diferentes velocidades. Isto indica que informações do eixo vertical do GT3X podem ser utilizadas para estimar o gasto energético ou a intensidade da atividade física por meio dos modelos de regressão ou limiares derivados das versões antigas do ActiGraph. No entanto, *counts* do vetor magnitude do GT3X e do eixo vertical dos modelos 7164 e GT1M não são comparáveis e, para explorar a medida triaxial do ActiGraph, novos estudos de calibração em jovens são necessários.

O Actical (Respironics Co. Inc., Bend, Oregon) é o menor e mais leve acelerômetro disponível comercialmente. Este sensor de movimento possui uma capacidade de armazenamento de dados entre 44 e 45 dias, a partir da utilização de intervalos de amostragem de um minuto(29, 70). Ressalta-se que o *epoch* mínimo permitido por este acelerômetro é de 15 segundos(60). O Actical utiliza um único acelerômetro unidirecional interno que sente o movimento em todas as direções, embora seja orientado para detectar a aceleração vertical(70). Quando fixado no quadril, este dispositivo se torna mais sensível aos movimentos verticais do torso. Além disso, a sensibilidade deste

equipamento permite detectar desde movimentos sedentários até movimentos de alta intensidade(54).

O acelerômetro RT3 (StayHealthy, Inc., Monrovia, CA) foi desenvolvido com base na tecnologia do Tritac-R3D. Ambos os instrumentos se diferem no número de acelerômetros incorporados. Enquanto o Tritac-R3D utiliza três acelerômetros uniaxiais posicionados lado a lado, o RT3 contém um acelerômetro triaxial integrado(29). Além disso, o RT3 possui dimensões e peso reduzidos (7,1 x 5,6 x 2,8 centímetros, 65,2 gramas) quando comparado ao Tritac-R3D (10,8 x 6,8 x 3,3 centímetros, 170,4 gramas). Quando posicionado no quadril, o RT3 detecta acelerações no eixo vertical (X), ântero-posterior (Y) e médio-lateral (Z). Estas informações podem ser combinadas para gerar uma medida triaxial dos valores de *counts* denominada de vetor magnitude, calculado como: $(X^2 + Y^2 + Z^2)^{0,5}$ (55-56).

2.1.3 Acelerômetros: vantagens e limitações

A acelerometria tem se constituído como um atraente método de medida da atividade física em estudos com crianças/adolescentes em virtude de uma série de vantagens relacionadas ao uso deste método, as quais incluem: a) registro de informações livres de erros aleatórios e sistemáticos relacionados ao avaliado e ao pesquisador(24-25, 63, 71); b) equipamentos com tamanho reduzido, não invasivos, que minimamente afetam os movimentos durante atividades do cotidiano(23) e que provocam mínima reatividade no comportamento de crianças e adolescentes(22); c) capacidade de coletar e armazenar dados registrados em curtos períodos de tempo (1, 15, 30, 60 segundos) por inúmero dias(20); d) possibilidade de determinar, de forma objetiva, o tempo gasto diariamente em atividades sedentárias, leves, moderadas e vigorosas(20); e) potencial para melhorar o entendimento da relação entre atividade física e saúde, e, para estabelecer uma relação dose-resposta entre atividade física e desfechos em saúde(25).

Apesar de reconhecidas vantagens, é importante destacar que acelerômetros possuem certas limitações que podem influenciar a qualidade de suas informações, tais como: a) registros menos precisos dos movimentos relacionados aos segmentos corporais aos quais os acelerômetros não estão fixados(23, 63); b) incapacidade de fornecer informações contextuais sobre o tipo de atividade física realizada(24, 71); c) dificuldade em medir corretamente a aceleração em alguns tipos de atividades físicas, tais como o ciclismo e a natação(12-13, 24, 71); d) incapacidade de detectar aumento na intensidade do movimento em

atividades realizadas com sustentação de cargas externas(12-13, 63) ou em terrenos com aclive e/ou declive.

2.1.4 Reprodutibilidade de acelerômetros

A validade das estimativas do gasto energético e da intensidade da atividade física por meio das informações obtidas junto aos acelerômetros é dependente, dentre outros fatores, da consistência das medidas apresentadas pelos mesmos. Em geral, duas diferentes estratégias têm sido utilizadas para testar a reprodutibilidade de acelerômetros. A primeira estratégia analisa a consistência dos valores de *counts* registrados por unidades de acelerômetros posicionadas em ambos os lados do quadril durante a prática de atividades físicas. Este procedimento fornece uma visão geral da reprodutibilidade de acelerômetros em condições cotidianas, embora seja suscetível a erros associados a vibrações externas ou referentes ao mau posicionamento dos equipamentos(23, 72). A segunda estratégia utiliza aparatos mecânicos que fornecem uma quantia padronizada de aceleração ($m.s^{-2}$) a uma dada frequência (Hz)(73), permitindo testar a variabilidade atribuída somente ao acelerômetro.

A tabela 2 apresenta os resultados dos estudos de reprodutibilidade dos acelerômetros ActiGraph, Actical e RT3 sob condições mecânicas e durante atividades físicas praticadas por jovens. Os resultados destes estudos indicam que os acelerômetros ActiGraph e Actical possuem boa consistência intra e inter instrumentos. Coeficientes de variação intra e inter instrumentos para o ActiGraph em protocolos mecânicos variaram entre 0,8-2,9 e 3,5-8,6%, respectivamente. Quando analisada a consistência entre unidades do ActiGraph posicionadas em ambos os quadris, boa a elevada consistência também foi verificada (ICC = 0,77 a 0,91). Contrariamente, forte dispersão intra (CV = 0,3 a 46,4%) e inter (CV = 6,6 a 42,9%) instrumentos foi constatada para o RT3 em ambos os tipos de protocolo, indicando menor reprodutibilidade deste modelo de acelerômetro. Os resultados da tabela 2 adicionalmente indicam que a variabilidade entre unidades é maior do que a variabilidade intra-unidade. Além disso, destaca-se que a reprodutibilidade destes equipamentos tende a variar conforme alterações na aceleração e na frequência geradas pelo equipamento mecânico(74-75), bem como na intensidade da atividade física realizada(58).

Tabela 2. Reprodutibilidade dos acelerômetros ActiGraph, Actical e RT3 em protocolos mecânicos e de AF diária

Estudo	Amostra	Modelo	Protocolo	Intra-instrumentos	Inter-instrumentos
Silva et al.(74)	---	ActiGraph	Mecânico	CV = 2,9%	CV = 3,5%
Vanhelst et al.(58)	n=60, 10-14 anos	RT3	Quadril direito	---	CV = 6,6-17,%
Kransnoff et al.(72)	---	RT3	Mecânico	CV = 0,3-1,8	CV= 9,5-34,7%
Esliger e Tremblay(75)	---	Actical	Mecânico	CV = 0,5%	CV = 5,4%
		ActiGraph	Mecânico	CV = 3,2%	CV = 8,6%
		RT3	Mecânico	CV = 46,4%	CV = 42,9%
Kozub et al.(76)	n=19, 8-18 anos	RT3	Ambos os quadris	---	CCI = 0,98
Sirard et al.(32)	n=16, 3-5 anos	ActiGraph	Ambos os quadris	---	CCI = 0,84
Garcia et al.(77)	n=16, 6-10 anos	ActiGraph	Ambos os quadris	---	CCI=0,77-0,86
Treuth et al.(37)	---	ActiGraph	Mecânico	---	CV < 10%
Chu et al.(78)	n=34, 11-15 anos	ActiGraph	Ambos os quadris	---	ICC=0,85-0,91

continua

continuação da Tabela 2

Metcalf et al.(79)	---	ActiGraph	Mecânico	CV=0,8-1,4%	CV = 4,6-5,0%
Fairweather et al.(80)	n=10, 4anos	ActiGraph	Mecânico	---	r = 0,98-0,99
			Ambos os quadris	---	r = 0,92
Trost et al.(81)	n=30, anos	10-14 ActiGraph	Ambos os quadris	---	ICC = 0,87

CV = coeficiente de variação; CCI = coeficiente de correlação intraclasse; r = coeficiente de correlação

2.2 Calibração de acelerômetros em crianças e adolescentes

A capacidade dos acelerômetros em fornecer medidas válidas da atividade física em crianças e adolescentes vem sendo testada desde a metade da década de 80. De uma maneira geral, os estudos têm verificado o grau de validade concorrente entre as informações em *counts* registradas por acelerômetros de diferentes fabricantes e aquelas obtidas junto a outros métodos de medidas da atividade física e do gasto energético, tais como a calorimetria indireta, a água duplamente marcada, a observação direta e o monitoramento da frequência cardíaca. Os resultados destes estudos indicam a existência de baixas a elevadas correlações ($r = 0,35$ a $0,89$) entre medidas obtidas pelos acelerômetros e os métodos citados(76, 80, 82-97).

Apesar da reconhecida validade concorrente apontada por estes estudos, uma das questões cruciais para o entendimento do significado da atividade física medida por acelerometria é a de como transformar o sinal dos acelerômetros (*counts*) em informações com significado biológico ou comportamental(28). Este processo é denominado de calibração e envolve a conversão dos valores de *counts* registrados pelos acelerômetros durante a prática de atividades físicas em medidas de gasto energético, consumo de oxigênio ou múltiplos da taxa metabólica de repouso (METs) por meio de modelos de regressão. A partir da resolução destes modelos, limiares para *counts* dos acelerômetros são derivados para determinar a intensidade da atividade física. Alternativamente, limiares também têm sido derivados de Curvas da Característica Operativa do Receptor (Curvas ROC). Em ambos os procedimentos, métodos de referência, tais como a calorimetria e a observação direta, são empregados como critérios de medidas para a calibração dos acelerômetros.

Recomenda-se que os estudos de calibração sejam específicos ao tipo de acelerômetro e ao grupo etário, uma vez que: a) há uma falta de conhecimento sobre a origem e a validade das equações para o cálculo do gasto energético inerentes ao sistema interno de alguns modelos de acelerômetro; b) existem diferenças substanciais no processo de coleta e armazenamento das informações entre acelerômetros de diferentes fabricantes, e; c) os parâmetros físicos e fisiológicos podem exercer influência sobre a relação entre os valores de *counts* dos acelerômetros e medidas biológicas e comportamentais.

Nos últimos anos, tem se observado um crescente interesse na calibração de diferentes tipos de acelerômetros para a obtenção de medidas da atividade física em crianças e adolescentes. Este capítulo

apresenta os resultados fornecidos por estudos de calibração. Equações para estimativas do gasto energético e limiares relacionados à intensidade da atividade são apresentados separadamente para cada modelo de acelerômetro.

2.2.1 ActiGraph

Os modelos uniaxiais do acelerômetro ActiGraph tem sido extensivamente calibrado em amostras de pré-escolares(30-33), crianças e adolescentes(34-38, 66-67, 77-78, 81, 85, 98-100). Os modelos de predição do gasto energético e os limiares relacionados à intensidade da atividade física derivados destes estudos de calibração são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

2.2.1.1 Calibração do ActiGraph em pré-escolares

Utilizando a observação direta como método de referência, Reilly et al.(31) identificaram um limiar de 1100 *counts.min*⁻¹ para à identificação do comportamento sedentário de pré-escolares (n = 30) a partir do uso do ActiGraph (modelo 7164). Quando este limiar foi testado em uma amostra independente (n = 52), 438 de 528 minutos inativos foram corretamente classificados (sensibilidade = 83%), e, 1251 de 1526 minutos não inativos foram corretamente classificados (especificidade = 82%).

A partir de uma amostra de 16 pré-escolares, Sirard et al.(32) derivaram pontos de cortes específicos à idade para atividades sedentárias (posição sentada), leves (caminhada lenta), moderadas (caminhada rápida) e vigorosas (corrida) (Tabela 4). Os limiares encontrados foram testados em uma amostra independente (n = 281) durante atividades não estruturadas realizadas nas pré-escolas por 10 dias. Áreas sobre as curvas ROC identificaram excelente discriminação das intensidades da atividade física (ROC = 0,92 a 1,00), com valores de sensibilidade e especificidade variando entre 87-100% e 67-100%, respectivamente. Em virtude de uma possível influência da estatura, comprimento das pernas, coordenação e idade maturacional sobre a aceleração vertical detectada pelos acelerômetros, estes autores defendem o uso de limiares específicos à idade em crianças.

Tabela 3. Modelos de predição derivados de estudos de calibração do ActiGraph com crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Modelos de predição e estatísticas
Choi et al.(100)	n = 76 10-17 anos	Atividades diversas durante 24 h em sala de calorimetria	GE (kcal.dia ⁻¹), GEA (kcal) e MET (min)*
Corder et al.(67)	n = 145 11-12 anos	Repouso, sentado, correr, caminhar, amarelinha	GEA (J.kg ⁻¹ .min ⁻¹) = 0,1.(counts.min ⁻¹) - 2,29.(estatura) + 353 → R ² = 0,87
Mattocks et al.(35)	n = 163 10-14 anos	Repouso, jogar videogame, caminhar/correr, amarelinha	GEA (kJ.kg.min ⁻¹) = -0,933 + 0,000098.(counts.min ⁻¹) + 0,091.(idade) - 0,0422.(sexo) → R ² = 0,67
Pate et al.(30)	n = 30 3-5 anos	Caminhar e correr	VO ₂ (ml.kg.min ⁻¹) = 10,0714 + 0,02366.(counts.15s ⁻¹) → r = 0,82
Corder et al.(66)	n = 24 12-14 anos	Teste submáximo em esteira rolante	GEA (J.kg ⁻¹ .min ⁻¹) = 0,17.(counts.min ⁻¹) + 201,1 → R ² = 0,50
Schmitz et al.(99)	n = 74 13-14 anos	Repouso, ver TV, jogar no computador, caminhar, varrer, passos aeróbicos, andar de bicicleta, correr, arremessos de basquetebol, subir degraus	GEA (kJ.min ⁻¹) = 7,6628 + 0,1462.(counts.min ⁻¹ - 3000) / 100 + 0,2371.(massa corporal) - 0,00216.[(counts.min ⁻¹ - 3000) / 100] ² + 0,004077.(counts.min ⁻¹ - 3000) / 100.(massa corporal) → R _c = 0,85
Garcia et al.(77)	n = 16 6-10 anos	Caminhar, correr, saltos	GEA (kcal.min ⁻¹) = -2,40 + 0,00055.(counts.min ⁻¹) + 0,157.(massa corporal) → R ² = 0,80
Treuth et al.(37)	n = 74 13-14 anos	Repouso, assistir TV, jogar no computador, caminhar, varrer, passos aeróbicos, andar de bicicleta, correr, basquetebol, subir degraus	MET = 2,01 + 0,00171.(counts.30s ⁻¹) → R _c = 0,84

continua

continuação da Tabela 3

Chu et al.(78)	n = 34 11-15 anos	Caminhar e correr	$GEA (kcal.min^{-1}) = -1,398.(constante) + 0,00062 (counts.min^{-1}) - 0,0803.(massa\ corporal) \rightarrow R^2 = 0,72$
Puyau et al.(36)	n = 26 6-16 anos	Jogar videogame, colorir, brincar no chão, exercícios de aquecimento, caminhar, artes marciais, basquete, bambolê, saltos, correr	$GEA (kcal/kg/min) = 0,0183 + 0,000010.(counts.min^{-1}) \rightarrow r = 0,75$
Ekelund et al.(85)	n = 26 9 anos	14 dias de monitoramento	$GEA (kcal.dia^{-1}) = 1,042.(counts.min^{-1}) - (sexo).243,4 + 238 \rightarrow R^2 = 0,45$
Eston et al.(98)	n = 30 8-12 anos	Caminhar, correr, pega-pega, amarelinha, desenhar	$sVO_2 (ml.kg^{-0,75}.min^{-1}) = 36,917 + 0,004.(counts.min^{-1}) \rightarrow R^2 = 0,61$
Trost et al.(81)	n = 30 10-14 anos	Caminhar e correr	$GEA (kcal.min^{-1}) = -2,23 + 0,0008.(counts.min^{-1}) + 0,08.(massa\ corporal) \rightarrow R^2 = 0,83$
Freedson et al.(101)	n = 80 6-18 anos	Caminhar e correr	$METs = 2,757 + 0,0015.(counts.min^{-1}) - 0,08957.(idade) - 0,000038.(counts.min^{-1}).(idade) \rightarrow R^2 = 0,74$

GE = gasto energético; GEA = gasto energético da atividade; VO_2 = consumo de oxigênio; sVO_2 = consumo de oxigênio escalonado; r = coeficiente de correlação; R^2 = coeficiente de explicação; R_c = coeficiente de correlação de concordância; estatura em cm; idade em anos; massa corporal em kg; sexo = (masculino = 0 e feminino = 1)

*Para cada variável, modelos de predição para *counts* do ActiGraph posicionado no quadril, pulso, tornozelo, quadril+pulso, quadril+pulso+tornozelo.

Tabela 4. Limiares do ActiGraph para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Limiares e indicadores de validade			
			Atividade Sedentária	Intensidade Leve	Intensidade Moderada	Intensidade Vigorosa
Cauwenberghe et al.(33)	n = 18 4-6 anos	Sentado, em pé, desenhar, caminhar, correr e jogos livres	0-372 c.15s S:86%;E:91%	373-584 c.15s	585-880 c.15s S:87%;E:82%	≥881 c.15s S:88%;E:91%
Vanhelst et al.(38)	n = 40 10-16anos	Repouso, ler, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar e correr	0-400 c.min Kappa=0,85	401-1900c.min Kappa=0,72	1901-3918c.min Kappa=0,88	>3918 c.min Kappa=0,91
Evenson et al.(34)	n = 33 5-8 anos	Sentado, assistir DVD, colorir, caminhar, subir degraus, dribles de basquete, pedalar, polichinelos, correr	0-25 c.15s S:95%;E:93%	26-573 c.15s	574-1002 c.15s S:77%;E:81%	≥1003 c.15s S:68%;E:89%
Mattocks et al.(35)	n = 163 12 anos	Repouso, jogar videogame, caminhar, correr, amarelinha	-----	-----	3581-6129c.min S:96%;E:61%	≥6130 c.min S:74%;E:95%
Pate et al.(30)	n = 30 3-5 anos	Caminhar e correr	-----	-----	420-841 c.15s S:97%;E:86%	≥842 c.15s S:66%;E:95%
Sirard et al.(32)	n = 16 3-5 anos	Sentado, jogar sentado, caminhar e correr	0-301 ^a c.15s S e E:100%	302-614 ^a c.15s	615-1230 ^a c.15s S:93%;E:100%	≥1231 ^a c.15s S:100%;E:80%
			0-363 ^b c.15s S e E:100%	364-811 ^b c.15seg	812-1234 ^b c.15s S:87%;E:90%	≥1235 ^b c.15s S:100%;E:80%
			0-398 ^c c.15s S:94%;E:92%	399-890 ^c c.15s	891-1254 ^c c.15s S:94%;E:67%	≥1255 ^c c.15s S:96%;E:83%

continua

continuação da tabela 4

Treuth et al.(37)	n = 74 13-14anos	Repouso, assistir TV, jogar no computador, varrer, caminhar, passos aeróbicos, andar de bicicleta, arremessos de basquetebol, subir degraus, correr	<50 c.30s	51-1499 c.30s	1500-2600 c.30s	>2600 c.30s
Reilly et al.(31)	n = 30 3-4 anos	Não especificado	<1100 c.min S:83%;E:82%	-----	-----	-----
Puyau et al.(36)	n = 26 6-16 anos	Jogar videogame, colorir, brincar no chão, exercícios de aquecimento, caminhar, artes marciais, correr, basquete, bambolê, saltos	<800 c.min ND	800-3199c.min ND	3200-8199c.min ND	≥8200 c.min ND

S = sensibilidade; E = especificidade; c.15seg = *counts* por 15 segundos; c.30seg = *counts* por 30 segundos; c.min = *counts* por minuto; ^aponto de corte para 3 anos de idade; ^bponto de corte para 4 anos de idade; ^cponto de corte para 5 anos de idade; ND = não disponível.

Em outro estudo envolvendo pré-escolares, Pate et al.(30) submetem 29 crianças (3 a 5 anos) a um protocolo de três atividades estruturadas em esteira rolante e desenvolveram uma equação de predição do consumo de oxigênio ($R^2 = 0,90$; $EPE = 4,70 \text{ ml.kg.min}^{-1}$). Após uma inspeção visual dos pontos de dados, os autores identificaram que um valor de VO_2 de $20 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ consistentemente diferenciou as atividades leves (caminhada lenta) e moderadas (caminhada ativa), e, que um valor de $30 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ diferenciou as atividades moderadas e vigorosas (corridas). O modelo de regressão foi resolvido para valores de *counts* correspondendo a 20 e $30 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ e renderam pontos de corte de 420 counts.15seg para atividades moderadas, e, 842 counts.15seg para atividades de intensidade vigorosas. No processo de validação cruzada, os pontos de corte foram testados contra uma série de atividades não-estruturadas realizadas pelas mesmas crianças. Os valores de sensibilidade e especificidade referentes aos pontos de corte para as atividades moderadas foram elevados (96,6 e 86,2%, respectivamente), enquanto que o limiar para atividades vigorosas se mostrou mais específico (95,4%) do que sensível (65,5%).

Van Cauwenbergh et al.(33) calibraram o ActiGraph (GT1M) em uma amostra de 18 pré-escolares mediante um protocolo de atividades físicas estruturadas e não-estruturadas. A observação direta foi adotada como método de referência. Curvas ROC derivaram limiares de 372 , 585 e $881 \text{ counts.15s}^{-1}$ para atividades sedentárias, moderadas e vigorosas, respectivamente. Estes limiares apresentaram excelente capacidade de discriminação das diferentes intensidades da atividade física ($ROC = 0,91$ a $0,95$). Adicionalmente, estes pesquisadores monitoraram uma amostra de 53 pré-escolares durante cinco dias com o ActiGraph e aplicaram limiares de diferentes estudos de calibração com pré-escolares para estimar o tempo gasto em diferentes intensidades da atividade física. Comparativamente, a média de minutos por dia em atividades sedentárias, leves e moderadas a vigorosas variou de forma significativa entre todos os limiares testados. Estes resultados revelam que os limiares disponíveis para *counts* do ActiGraph podem produzir diferentes estimativas da atividade física em pré-escolares.

2.2.1.2 Calibração do ActiGraph em crianças e adolescentes

Os primeiros estudos de calibração do ActiGraph (modelo 7164) em crianças e adolescentes foram conduzidos por Freedson et al.(101) e Trost et al.(81). No primeiro estudo, um protocolo de caminhada e corrida em três diferentes velocidades foi aplicado em um

grupo de 41 meninas e 39 meninos. Empregando a calorimetria indireta como método de referência, um modelo de predição de METs foi elaborado a inclusão de *counts* do ActiGraph e idade como variáveis predictoras. O coeficiente de explicação deste modelo foi de 74% e o EPE de 1,1 METs.

No estudo de Trost et al.(81), trinta indivíduos (10 a 14 anos) foram submetidos a três séries de um protocolo de corrida/caminhada em esteira rolante em três diferentes velocidades (3, 4 e 6 mph¹). Um modelo de regressão para a predição do gasto energético (kcal.min⁻¹) foi desenvolvido com base nas informações dos valores de *counts* e massa corporal em 20 sujeitos ($R^2 = 0,83$; EPE = 0,97 kcal.min⁻¹). Este modelo foi aplicado em um grupo de 10 indivíduos e o coeficiente de correlação entre o valor do gasto energético mensurado e predito foi de 0,93 (P<0,001). O erro padrão de estimativa (EPE) deste modelo foi de 0,93 kcal.min⁻¹ e aumentou de forma proporcional ao incremento na velocidade da esteira ao longo do protocolo (EPE = 0,66, 1,00 e 1,08 kcal.min⁻¹, respectivamente).

Empregando um protocolo semelhante àquele observado no estudo anterior, Chu et al.(78) desenvolveram um modelo de regressão para a estimativa do gasto energético em adolescentes (n = 24) utilizando a calorimetria indireta como método de referência. A equação de predição desenvolvida a partir dos valores de *counts* do Actigraph (modelo 7164) e de massa corporal explicou 72% da variabilidade do gasto energético, com um erro padrão de estimativa de 0,91 kcal.min⁻¹. A validade desta equação foi testada em uma amostra independente (n = 10) e foi observada uma correlação altamente significativa (r = 0,90) entre os valores do gasto energético mensurado e predito.

É importante salientar que os elevados coeficientes de validade relatados por estes estudos foram obtidos em atividades sistematizadas desempenhadas em laboratório. Portanto, a generalização destes modelos para a determinação do gasto energético em atividades do cotidiano parece inapropriada. Nesse sentido, em um protocolo com maior grau de validade externa, Ekelund et al.(85) utilizaram a acelerometria e a água duplamente marcada para monitorar 26 crianças durante duas semanas. Correlações de magnitude fraca a moderada (r = 0,39 a 0,58) foram observadas entre *counts* do ActiGraph e medidas de gasto energético total, gasto energético da atividade e nível de atividade física determinadas pela água duplamente marcada. Um modelo de predição do gasto energético da atividade foi elaborado com a inclusão

¹ Milhas por hora (1 milha equivale a 1,61 km/h)

de *counts* do ActiGraph e sexo como variáveis preditoras. Este modelo explicou apenas 45% da variação da energia gasta em atividades físicas do cotidiano.

Os primeiros limiares para os valores de *counts* do acelerômetro ActiGraph voltados à determinação da intensidade da atividade em crianças e adolescentes (≥ 6 anos) foram propostos por Puyau et al.(36). Neste estudo, 26 indivíduos entre seis e 16 anos foram monitorados por calorimetria direta enquanto desempenharam um protocolo de atividades físicas com ampla variação de intensidade durante um período de seis horas. Valores de gasto energético obtidos durante estas atividades foram adotados como critérios para definir os limiares de *counts* do acelerômetro ActiGraph para níveis sedentários ($<0,015$ kcal.kg.min⁻¹), leves ($\geq 0,015$ e $<0,05$ kcal.kg.min⁻¹), moderados ($\geq 0,05$ e $<0,10$ kcal.kg.min⁻¹) e vigorosos ($\geq 0,10$ kcal.kg.min⁻¹) de atividade física (Tabela 4). Infelizmente, indicadores de validade destes limiares não foram estabelecidos.

Posteriormente, Schmitz et al.(99) e Treuth et al.(37) elaboraram modelos de predição do gasto energético (kJ.min⁻¹) e de METs a partir do emprego de um protocolo que englobou diversas atividades relacionadas ao cotidiano de crianças e adolescentes. Para tanto, 74 meninas (13 a 14 anos) foram monitoradas por um analisador de gases portátil e pelo acelerômetro ActiGraph (modelo 7164) durante dez diferentes tipos de atividades físicas de intensidades sedentárias a vigorosas. Modelos de predição dos valores de METs desenvolvido por Treuth et al. (2004) e do gasto energético elaborado por Schmitz et al. (2005) apresentaram valores de coeficiente de concordância de 0,84 e 0,85, e, erro padrão de estimativa de 1,36 METs e 5,61 kJ.min⁻¹, respectivamente.

Adicionalmente, Treuth et al.(37) derivaram limiares relacionados às atividades sedentárias e de intensidades leves, moderadas e vigorosas. Especificamente para a determinação do limiar das atividades moderadas, três diferentes procedimentos foram testados. O primeiro procedimento procurou diferenciar as quatro atividades de menor intensidade das demais atividades (moderada ou vigorosa intensidade). Limiares variaram entre 1100 a 1600 *counts*.30s⁻¹ e geraram elevado número de falsos positivos e falsos negativos. O segundo procedimento apresentou a mesma característica do anterior, excluindo-se apenas as atividades aeróbias daquelas pertencentes às intensidades moderadas/vigorosas. Similarmente, os limiares propostos (1100 a 1600 *counts*.30seg⁻¹) também geraram alto número de falsos positivos e falsos negativos. Portanto, um terceiro procedimento foi

testado o qual procurou apenas distinguir a caminhada lenta da caminhada vigorosa. Um ponto de corte de 1500 *counts*.30seg⁻¹ foi elaborado e gerou o menor número de falsos positivos e falsos negativos. Limiares relacionados ao comportamento sedentário e as atividades vigorosas foram de 50 e 2600 *counts*.30s⁻¹, respectivamente.

O estudo de calibração do acelerômetro ActiGraph (modelo 7164) com maior tamanho amostral foi realizado por Mattocks et al.(35). Na fase de calibração, 163 adolescentes completaram um protocolo contendo cinco tipos de atividades físicas durante cerca de 30 minutos. Após a identificação de uma forte correlação entre os valores de *counts* e o gasto energético medido pela calorimetria indireta para todas as atividades combinadas ($r = 0,82$), uma equação para o cálculo do gasto energético (kJ.kg.min^{-1}) foi desenvolvida com a inclusão das variáveis idade e sexo ($R^2 = 0,67$). Apesar destas variáveis serem incluídas no modelo de predição, elas melhoraram modestamente o coeficiente de explicação geral do modelo. Ao refazer a equação com o VO_2 como variável de desfecho, limiares de 3581 e 6130 *counts*.min⁻¹ foram derivados para atividades de intensidade moderadas (4 METs) e vigorosas (6 METs), respectivamente. A equação de predição do gasto energético e os limiares foram então submetidos a um processo de validação cruzada em uma amostra de 83 adolescentes. A diferença média entre o gasto energético real e o predito foi de $-0,01 \text{ kJ.kg.min}^{-1}$ e os limites de concordância variaram entre $-0,29$ e $0,30 \text{ kJ.kg.min}^{-1}$. Os limiares, por sua vez, apresentaram valores de sensibilidade e especificidade de 95,5 e 60,7% para atividades moderadas, e, 74,1 e 94,7% para atividades vigorosas, respectivamente.

Os mais recentes limiares para o ActiGraph destinados à estimativa da atividade física de crianças e adolescentes foram derivados dos estudos de Evenson et al.(34) e Vanhelst et al.(38). No primeiro estudo, 33 crianças (5 a 8 anos) foram monitoradas por calorimetria indireta e pelo ActiGraph (modelo 7164) durante nove atividades de intensidades sedentárias a vigorosas. Curvas ROC determinaram limiares para atividades sedentárias (0-25 *counts*.15s⁻¹), leves (26-573 *counts*.15s⁻¹), moderadas (574-1002 *counts*.15s⁻¹) e vigorosas ($\geq 1003 \text{ counts.15s}^{-1}$) onde a sensibilidade e a especificidade foram maximizadas. Áreas sob a curva ROC indicaram quase perfeita discriminação do comportamento sedentário (ROC = 0,98) e boa acurácia de classificação das atividades moderadas e vigorosas (ROC = 0,85 e 0,83, respectivamente). Análises estratificadas por grupo etário (5-6 versus 7-8 anos) não apontaram melhora na predição das diferentes

intensidades da atividade física, sugerindo que limiares específicos à idade não são necessários para este grupo etário.

No estudo de Vanhelst et al.(38), um protocolo de atividades físicas contendo atividades sedentárias (repouso, ler e jogar videogame) e de intensidades leve (jogos de salão, chutar bola e caminhar a 1,5 km/h em 3% de inclinação), moderada (caminhar a 3 e 4 km/h em 3% de inclinação) e vigorosa (correr a 6 km/h em 3% de inclinação) foi utilizado para calibrar o ActiGraph (modelo GT1M) em uma amostra de adolescentes (10 a 16 anos). Limiares derivados por curvas ROC foram de 0-400, 401-1900, 1901-3918 e > 3918 *counts.min*⁻¹ para atividades sedentárias, leves, moderadas e vigorosas, respectivamente. Estes limiares foram testados nas mesmas atividades em uma amostra independente de 20 adolescentes e apresentaram coeficientes de concordância Kappa entre 0,72 (intensidade leve) e 0,91 (intensidade vigorosa).

Choi et al.(100) monitoraram 79 adolescentes durante 24 horas em uma sala de calorimetria indireta. Para simular as atividades cotidianas, foi utilizado um protocolo estruturado contendo cerca de 35% de atividades sedentárias, 55% de atividades leves e 10% de atividades moderadas a vigorosas. Utilizando um procedimento de modelagem avançado (*Distributed Lag Spline Model*), equações de predição do gasto energético diário, gasto energético da atividade e METs foram derivados a partir do uso isolado ou combinado de *counts* do ActiGraph (GT1M) posicionados no quadril, pulso e tornozelo. Em geral, modelos que combinaram *counts* do quadril+pulso+tornozelo apresentaram melhores estimativas em comparação aos demais modelos. Quando *counts* foram considerados de forma isolada, modelos derivados para o quadril mostraram melhor desempenho em relação àqueles derivados para o tornozelo e pulso. Modelos de METs para *counts* isolados (quadril) e combinados (quadril, tornozelo e pulso) foram então confrontados contra modelos de predição de METs de Freedson et al.(101) e Crouter et al.(102). Ambos os modelos foram menos enviesados ($P < 0,001$) e mais precisos em relação àqueles disponíveis na literatura.

A interpretação e/ou comparação dos resultados observados junto aos estudos de calibração do ActiGraph é relativamente difícil em virtude das diferenças metodológicas apresentadas pelos estudos. De uma maneira geral, as seguintes interpretações podem ser realizadas: a) limiares relacionados ao comportamento sedentário variam entre 100 e 800 *counts.min*⁻¹; b) limiares relacionados às atividades moderadas variam entre 1900 e 3600 *counts.min*⁻¹; c) limiares para a identificação

de atividades vigorosas variam entre 3900 e 8200 *counts.min*⁻¹. Ressalta-se que a ampla variação destes limiares em cada intensidade da atividade física aliada à ausência de estudos de validação, dificulta a escolha de limiares apropriados para a estimativa da atividade física por meio do ActiGraph.

2.2.2 Actical

O Actical tem sido calibrado em estudos com pré-escolares(103), crianças e adolescentes(34, 53-54, 66, 70). Modelos de predição do gasto energético e limiares relacionados à intensidade da atividade física para este modelo de acelerômetro são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

2.2.2.1 Calibração do Actical em pré-escolares

Pfeiffer et al.(103) adotaram procedimentos idênticos àqueles utilizados por Pate et al.(30) para calibrar o acelerômetro Actical em pré-escolares. Para tanto, 18 crianças (3 a 5 anos) desempenharam um protocolo de corrida e caminhada em esteira rolante em diferentes velocidades (2, 3 e 4 milhas por hora). Uma equação de predição do consumo de oxigênio foi elaborada ($R^2 = 0,96$; EPE = 3,02 ml.kg.min⁻¹) tendo a calorimetria indireta como método de referência. A equação foi resolvida para valores de *counts* correspondendo a 20 e 30 ml.kg.min⁻¹ de consumo de oxigênio e rendeu limiares de 715 e 1411 *counts.15s*⁻¹ relacionados à intensidade moderada e vigorosa, respectivamente. Valores de sensibilidade e especificidade para o limiar de intensidade moderada foram elevados (97,2 e 91,7, respectivamente), enquanto o limiar para atividades vigorosas se mostrou mais sensível (98,2%) do que específico (61,1%). Para testar a validade destes limiares, as mesmas crianças desempenharam atividades não-estruturadas durante 20 minutos sob monitoramento da calorimetria indireta. Valores de percentual de concordância, kappa e kappa modificado indicaram baixa a elevada validade destes limiares (0,26 a 0,85).

Tabela 5. Modelos de predição derivados de estudos de calibração do Actical com crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Modelos de predição e estatísticas
Heil(70)	n = 24 8-17 anos	Repouso, atividades em posição sentada, atividades de limpeza e atividades de locomoção	$GEA (kcal.kg.min^{-1}) = 0,03411 + (1,270E-5)counts.min^{-1}$ → $R^2 = 0,61$ (todas as atividades) $GEA (kcal.kg.min^{-1}) = 0,01667 + (5,103E-5)counts.min^{-1}$ → $R^2=0,75$ (atividades sentado e limpeza) $GEA (kcal.kg.min^{-1}) = 0,03534 + (1,135E-5)counts.min^{-1}$ → $R^2 = 0,73$ (atividades de locomoção)
Pfeiffer et al.(103)	n = 18 3-5 anos	Caminhar e correr	$VO_2 (ml.kg.min^{-1}) = counts.15s^{-1}.(0,01437) + 9,73$ → $R^2 = 0,95$
Corder et al.(66)	n = 24 12-14 anos	Teste submáximo em esteira rolante	$GEA (J.kg^{-1}.min^{-1}) = 0,2.(counts.min^{-1}) + 168,7$ → $R^2 = 0,67$
Puyau et al.(54)	n = 32 7-18 anos	Repouso, videogame, usar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar e correr	$GEA (kcal.kg.min^{-1}) = 0,00423 + 0,00031 (counts.min^{-1})^{0,653}$ → $R^2 = 0,81$

GEA = gasto energético da atividade; VO_2 = consumo de oxigênio; R^2 = coeficiente de explicação

Tabela 6. Limiares do Actical para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Pontos de corte e indicadores de validade			
			Atividade Sedentária	Intensidade Leve	Intensidade Moderada	Intensidade Vigorosa
Evenson et al.(34)	n = 33 5-8 anos	Sentado, assistir DVD, colorir, caminhar, subir degraus, dribles de basquete, pedalar, polichinelos, correr	0-11 c.15s S:97%;E:98%	12-507 c.15s	508-718 c.15s S:78%; E:79%	≥719 c.15s S:77%;E:79%
Pfeiffer et al.(103)	n = 18 3-5 anos	Caminhar e correr	----	----	715-1410 c.15s S:97%;E:92%	≥1411 c.15seg S:98%;E:61%
Puyau et al.(54)	n = 32 7-18 anos	Repouso, videogame, utilizar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar e correr	<100 c.min	100-1499c.min S:86%;E:72%	1500-6499c.min S:92%;E:73%	≥6500 c.min S:95%;E:70%
Colley eTremblay(53)	n = 12 9-15 anos	Caminhar e correr	----	----	1600-4759c.min	≥ 4760 c.min

S = sensibilidade; E = especificidade; c.15seg = *counts* por 15 segundos; c.min = *counts* por minuto.

2.2.2.2 Calibração do Actical em crianças e adolescentes

Os primeiros limiares para *counts* do acelerômetro Actical destinados à determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes foram desenvolvidos por Puyau et al.(54). Neste estudo, 32 indivíduos (7 a 18 anos) foram monitorados durante quatro horas em uma sala de calorimetria na condição de repouso e em atividades físicas, e, em um laboratório durante caminhada/corrida em esteira rolante em três diferentes velocidades. *Counts* do Actical foram significativamente correlacionados com o gasto energético total ($r = 0,83$) e com o gasto energético da atividade ($r = 0,85$). Modelos de predição do gasto energético da atividade e da taxa da atividade física (gasto energético / taxa metabólica de repouso) foram elaborados ($R^2 = 0,81$). Estas equações foram utilizadas para derivar limiares para atividades sedentárias (GEA $< 0,01$ kcal.kg.min⁻¹ ou METs $< 1,5$), leves ($0,01 \leq$ GEA $< 0,04$ kcal.kg.min⁻¹ ou $1,5 \leq$ METs $< 3,0$), moderadas ($0,04 \leq$ GEA $< 0,10$ kcal.kg.min⁻¹ ou $\leq 3,0$ METs $< 6,0$) ou vigorosas (GEA $\geq 0,10$ kcal.kg.min⁻¹ ou METs $\geq 6,0$). Áreas sob a curva ROC indicaram boa a excelente acurácia de classificação da intensidade da atividade física por meio destes limiares (ROC = 0,85 a 0,95). No entanto, ressalta-se que os limiares foram mais sensíveis (86 a 95%) do que específicos (70 a 73%).

Mediante informações registradas por unidades do acelerômetro Actical fixados em três diferentes locais (tornozelo, pulso e quadril), Heil(70) desenvolveram dois algoritmos para a estimativa do gasto energético e do tempo gasto em diferentes intensidades de esforço, em crianças e adolescentes. O primeiro algoritmo envolveu a predição destas variáveis a partir de um único modelo de regressão, enquanto o segundo propôs estimativas a partir de dois modelos de regressão específicos à intensidade da atividade realizada. Independentemente do ponto de fixação do acelerômetro, a adoção do segundo algoritmo proporcionou estimativas mais precisas dos valores médios do gasto energético em todas as intensidades de esforço (sedentária/leve, moderada e vigorosa), bem como do gasto energético total mensurado ao longo de todo o protocolo. Para ilustrar, os modelos específicos (algoritmo 2) elaborados a partir das informações registradas por acelerômetros posicionados no quadril apresentaram valores de coeficiente de explicação ($R^2 = 0,75$ e $0,73$) e de erro padrão de estimativa ($0,014$ e $0,018$ kcal.kg.min⁻¹) mais consistentes do que aqueles observados no modelo geral ($R^2 = 0,61$; EPE = $0,024$ kcal.kg.min⁻¹). Ao solucionar estes modelos, limiares próximos a 300 e

1650 *counts.min*⁻¹ são identificados para as atividades sedentárias e de intensidade moderada a vigorosa, respectivamente.

No estudo de Evenson et al.(34), 33 crianças foram monitoradas por calorimetria indireta e pelo Actical em nove tipos diferentes de atividades físicas. Curvas ROC derivaram limiares para atividades sedentárias (11 *counts.15s*⁻¹), moderadas (508 *counts.15s*⁻¹) e vigorosas (719 *counts.15s*⁻¹). A discriminação das atividades sedentárias foi quase perfeita (ROC = 0,99) e boa acurácia de classificação foi observada para as atividades moderadas e vigorosas (ROC = 0,86). Adicionalmente, áreas sob a curva ROC não identificaram diferenças na predição das intensidades das atividades física quando as análises foram estratificadas por grupo etário (P<0,05), indicando que as dimensões corporais parecem não afetar as estimativas da atividade física nesta faixa etária.

Os limiares mais recentes para o Actical foram desenvolvidos por Colley e Tremblay(53). Neste estudo, vinte e seis adultos e uma pequena amostra de adolescentes (n = 12) completaram um protocolo de caminhada e corrida em esteira rolante. O compêndio de atividades físicas proposto por Ainsworth et al.(104) foi adotado para classificar a intensidade das atividades de caminhada e corrida. Para adolescentes, limiares de 1600 e 4760 *counts.min*⁻¹ foram derivados para as atividades de intensidade moderada e vigorosa, respectivamente. Indicadores de validade de ambos os limiares não foram disponibilizados.

A despeito das diferenças metodológicas entre os estudos de calibração do Actical em jovens, pode-se observar certo consenso quanto aos limiares identificados para atividades sedentárias e de intensidade moderada. Por exemplo, para atividades sedentárias limiares parecem variar entre 44 e 100 *counts.min*⁻¹ e, com exceção do estudo de Pfeiffer et al.(103), limiares para atividades moderadas oscilam entre 1500 e 2016 *counts.min*⁻¹. Por outro lado, a identificação de atividades vigorosas parece ser mais problemática, uma vez que os limiares para *counts* do Actical variam amplamente entre 2876 e 6500 *counts.min*⁻¹.

2.2.3 RT3

Apenas cinco estudos calibraram o acelerômetro RT3 em amostras envolvendo crianças/adolescentes(55-58, 105). Os modelos de predição do gasto energético e limiares relacionados à intensidade da atividade física para este modelo de acelerômetro são apresentados nas Tabelas 7 e 8, respectivamente.

Tabela 7. Modelos de predição derivados de estudos de calibração do RT3 com crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Modelos de predição e estatísticas
Kavouras et al.(56)	n = 42 10-14 anos	Caminhar, correr, caminhada inclinada	$GEA \text{ (kcal.kg.min}^{-1}\text{)} = -2,195 + 0,001.(counts.min^{-1}) + 0,120.(massa \text{ corporal}) \rightarrow R^2 = 0,75$
Sun et al.(105)	n = 25 12-14 anos	No laboratório: sentado, escrever, em pé, sentar e levantar, step, pedalar no cicloergômetro, caminhar e correr Na escola: sete diferentes atividades do cotidiano	$GEA_{\text{laboratório}} \text{ (kcal.min}^{-1}\text{)} = 0,0006359.(counts.min^{-1}) - 0,0006427.(massa \text{ corporal}) + 0,733 \rightarrow R^2 = 0,95$ $GEA_{\text{campo}} \text{ (kcal.min}^{-1}\text{)} = 0,00030397(counts.min^{-1}) + 0,00586272.(massa \text{ corporal}) + 0,58 \rightarrow R^2 = 0,77$
Chu et al.(55)	n = 35 8-12 anos	Ler, colorir ou jogar jogos de tabuleiro, caminhar e correr	$VO_2 \text{ escalonado (ml.kg}^{0,75}\text{.min}^{-1}\text{)} = 21,37 + 0,0142 (counts.seg^{-1}) \rightarrow R^2 = 0,83$

GEA = gasto energético da atividade; VO_2 = consumo de oxigênio; R^2 = coeficiente de explicação; massa corporal em kg; $counts.seg = counts$ por segundo

Tabela 8. Limiares do RT3 para a determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes

Estudo	Amostra	Atividades	Pontos de corte e indicadores de validade			
			Atividade Sedentária	Intensidade Leve	Intensidade Moderada	Intensidade Vigorosa
Vanhelst et al.(58)	n = 40	Repouso, ler livro,	0-40 c.min	41-950 c.min	951-3410 c.min	>3410 c.min
	10-16anos	jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar e correr	S:90%;E:99%	S:88%;E:90%	S:98%;E:84%	S:93%;E:86%
Kavouras et al.(56)	n = 42	Caminhar, correr,	-----	-----	1323-	≥2610 c.min
	10-14anos	caminhada inclinada			2609c.min ND	ND
Chu et al.(55)	n = 35	Ler, colorir ou jogar	< 7	7-30,9 c.sec	31-68,4 c.sec	≥68,5 c.sec
	8-12 anos	jogos de tabuleiro, caminhar e correr		S e E:100%	S:87%;E:100%	S:88%;E:97%
Rowlands et al.(57)	n = 19	Jogar no computador,	-----	-----	970-2332 c.min	≥2333 c.min
	9±1 anos	caminhar, correr, pular amarelinha, chutar bola			ND	ND

S = sensibilidade; E = especificidade; c.sec = *counts* por segundo; c.min = *counts* por minuto; ND = não disponível.

No estudo que derivou os primeiros limiares para *counts* do vetor magnitude do RT3 em crianças e adolescentes, Rowlands et al.(57) submeteram 19 meninos ($9,5 \pm 0,8$ anos) e 15 homens ($20,7 \pm 1,4$ anos) a um protocolo de quatro atividades estruturadas em esteira rolante (4, 6, 8 e 10 km/h) e três atividades não-estruturadas. Adotando a calorimetria indireta como método de referência, limiares muito similares relacionados às atividades de intensidade moderada (3 METs) e vigorosa (6 METs) foram encontrados para meninos (970 e 2333 *counts.min*⁻¹, respectivamente) e homens (984 e 2340,8 *counts.min*⁻¹, respectivamente). De forma interessante, quando a análise considerou apenas as atividades estruturadas, limiares para atividades moderadas e vigorosas foram maiores nos meninos (1806 e 3022 *counts.min*⁻¹) em relação aos homens (1316 e 2636 *counts.min*⁻¹). Isto indica que o tamanho corporal pode influenciar valores de *counts* em determinadas atividades (corrida e caminhada) em virtude de uma maior frequência de passos em pessoas com membros inferiores mais curtos em uma dada velocidade de deslocamento.

Posteriormente, Chu et al.(55) testaram 35 chineses entre oito e 12 anos em um protocolo laboratorial contendo atividades sedentárias e de deslocamento em esteira rolante em quatro velocidades diferentes. Mediante o emprego de curvas ROC, pontos de corte relacionados ao comportamento sedentário (<2 METs) e às atividades físicas de baixa (≥ 2 e <3 METs), moderada (≥ 3 e <6 METs) e vigorosa (>6 METs) intensidade foram identificados. Valores de sensibilidade (87 a 100%) e especificidade (97 a 100%) para estes pontos de corte foram elevados. O grau em que estes limiares corretamente classificaram as intensidades do protocolo testado em uma amostra independente foi aceitável, com valores de sensibilidade e especificidade variando entre 0,79 a 0,96, e, 0,74 a 0,97, respectivamente.

Em um protocolo interessante, Kavouras et al.(56) calibraram o RT3 e testaram a habilidade deste acelerômetro em identificar alterações na intensidade do esforço em deslocamentos realizados no plano horizontal (4, 6 e 8 km/h; inclinação = 0%) e vertical (4 e 6 km/h; inclinação = 6%) em 42 crianças e adolescentes (10 a 14 anos). Informações do vetor magnitude e do gasto energético estimado pelo acelerômetro não se alteraram durante a transição entre a caminhada horizontal e a caminhada com inclinação de 6%, indicando uma limitação do RT3 em detectar alterações na intensidade sobre uma gradiente. Uma equação de regressão linear foi criada para a estimativa do gasto energético a partir de informações do vetor magnitude e massa corporal ($R^2 = 0,75$). A estimativa deste modelo ($GE = 6,62 \pm 2,20$

kcal.min⁻¹) não se diferenciou daquela fornecida pela calorimetria indireta (GE = 6,62±2,54 kcal.min⁻¹). No entanto, análises de Bland & Altman revelaram uma tendência de subestimação da predição do gasto energético por meio deste modelo nas atividades de alta intensidade (Spearman's rho = 0,19; P<0,05). Adicionalmente, limiares foram derivados para atividades moderadas (1323 counts.min⁻¹) e vigorosas (2609 counts.min⁻¹).

Sun et al.(105) elaboraram dois modelos de predição do gasto energético para adolescentes (12 e 14 anos) a partir de *counts* do vetor magnitude do RT3. Para o desenvolvimento do primeiro modelo, 25 adolescentes foram submetidos a um protocolo de atividades estruturadas realizadas em laboratório. Uma equação de estimativa do gasto energético foi desenvolvida tendo como variáveis preditoras os valores de *counts* do RT3 e a massa corporal (r = 0,95; p < 0,001). O outro modelo foi gerado a partir de sete atividades similares àquelas pertencentes ao cotidiano de adolescentes (intensidades moderada a vigorosa) realizadas em ambiente não-laboratorial. A equação de predição do gasto energético teve como variáveis preditoras os valores de *counts* do RT3 e a massa corporal (R²=0,58; EPE=0,38 kcal.min⁻¹). Comparativamente, este modelo apresentou indicadores de validade interna bastante inferior àqueles observados no modelo que englobou atividades estruturadas. Mesmo assim, na fase de validação cruzada, o modelo 2 apresentou indicador de validade superior àquele obtido pela equação fornecida pelo fabricante (r = 0,78 e 0,75, respectivamente), melhorando a explicação do gasto energético em 29,3%.

Recentemente, Vanhelst et al.(58) calibraram o RT3 em uma amostra de adolescentes com idade entre 10 e 16 anos. O protocolo de calibração envolveu três atividades sedentárias (repouso, ler e jogar videogame), três de intensidade leve (jogos de salão, chutar bola e caminhar a 1,5 km/h em 3% de inclinação), duas de intensidade moderada (caminhar a 3 e 4 km/h em 3% de inclinação) e apenas uma de intensidade vigorosa (correr a 6 km/h em 3% de inclinação). Curvas ROC derivaram limiares para *counts* que melhor distinguiram uma intensidade da outra (Tabela 8). Para testar a validade destes limiares, uma amostra independente de 20 adolescentes (10-16 anos) realizou as mesmas atividades. Coeficientes de concordância de Kappa para o grupo de validação variaram entre 0,75 (atividades sedentárias) e 0,91 (atividades moderadas). Indicadores de sensibilidade e especificidade também foram elevados (≥84%) em todas as intensidades. Em análises paralelas, estes autores adicionalmente verificaram que o sexo e a idade não afetaram os limiares.

De uma maneira geral, os estudos de calibração do RT3 têm disponibilizados limiares bastante inconsistentes para a estimativa de intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. Estes limiares têm variado entre 40 e 420 $counts.min^{-1}$ para atividades sedentárias, 950 e 1860 $counts.min^{-1}$ para atividades moderadas e 2330 e 4110 $counts.min^{-1}$ para atividades vigorosas.

2.2.4 Outros modelos de acelerômetros

De forma mais isolada, os acelerômetros Actiheart, Actiwatch, SenseWear Pro₂Armband, Biotrainer, ActivTracer, 3dNXTM, Tritac R3D e ActiReg também tem sido calibrado em crianças e adolescentes(36, 54, 65, 68, 77, 98, 106-112). Modelos de predição e limiares disponíveis para estes acelerômetros são apresentados nas tabelas 9 e 10, respectivamente.

Em dois estudos de calibração do acelerômetro Actiheart, Zakeri et al.(106, 109) utilizaram procedimentos estatísticos avançados (“*cross-sectional time series*” e “*multivariate adaptive regression splines*”) para elaborar modelos de predição do gasto energético, gasto energético em período de sono, gasto energético enquanto acordado e gasto energético da atividade. Em ambos os estudos, 109 indivíduos (5-18 anos) foram monitorados durante 24 horas em uma sala de calorimetria durante períodos em repouso, em alimentação e em atividades físicas estruturadas. Para modelos derivados a partir de *cross-sectional time series*, erros percentuais médios para a estimativa do GE, GE_{sono}, GE_{acordado} e GEA foram de 0,9, 1,5, 0,6 e 1,1%, respectivamente. Para a predição destas mesmas variáveis a partir dos modelos derivados de *multivariate adaptive regression splines*, erros percentuais médios foram de 0,4, 0,5, 0,4 e 1,5%, respectivamente.

Tabela 9. Modelos de predição derivados de estudos de calibração com diferentes tipos de acelerômetros

Estudo	Acelerômetro	Amostra	Modelos de predição e estatísticas
Zakeri et al.(106)	Actiheart	n = 109 5-18 anos	GE (kcal.min ⁻¹), GE _{acordado} (kcal.min ⁻¹), GE _{sono} (kcal.min ⁻¹), GEA (kcal.min ⁻¹)
Carter et al.(108)	3dNX™	n = 37 16±3 anos	GE (kJ.dia ⁻¹) = 7343 + (counts.0,039) + 45,80. (massa corporal) – (sexo ^a .1912) → R ² = 0,62
Dorminy et al.(68)	SenseWear Pro ₂ Armband	n = 21 10-14 anos	GEA (kcal.min ⁻¹) = 0,462EE.(GE do SenseWear) + 0,015 (massa corporal) → R ² = 0,99 GE (kcal.min ⁻¹) = 0,637EE.(GE do SenseWear) + 0,034.massa corporal → R ² = 0,98
Zakeri et al.(109)	Actiheart	n = 109 5-18 anos	GE (kcal.min ⁻¹), GE _{acordado} (kcal.min ⁻¹), GE _{sono} (kcal.min ⁻¹), GEA (kcal.min ⁻¹)
Corder et al.(67)	Actiheart	n = 145 11-12 anos	GEA (J.kg ⁻¹ .min ⁻¹) = 5,17.(FC > sono) + 0,61.(sexo.FC > sono) + 0,07.(counts.min ⁻¹) – 0,6.(sexo ^b) – 74 → R ² = 0,90
Tanaka et al.(111)	ActivTracer	n = 27 5-6 anos	GEA (kJ.min ⁻¹) = 0,1453 + 0,000586 (counts sintéticos) → R ² = 0,95 GEA (kJ.min ⁻¹) = 0,1383 + 0,00109 (counts sintéticos) ^{0,910} → R ² = 0,95
Corder et al.(66)	Actiheart	n = 24 12-14 anos	GEA (J.kg ⁻¹ .min ⁻¹) = 4,4.(FC>repouso) + 0,08(counts.min ⁻¹) – 2,7.(sexo ^b) + 1,1.(sexo ^b .FC > repouso) + 15,1 → R ² = 0,86
Garcia et al.(77)	Mini-Motionlogger Biotrainer	n = 16 6-10 anos	GEA (kcal.min ⁻¹) = -3,70 + 0,00041.(counts.min ⁻¹) + 0,166 (massa corporal) → R ² = 0,79 GEA (kcal.min ⁻¹) = -7,541 + 1,89.(counts.min ⁻¹) + 0,117 (massa corporal) + 0,054.(estatura) → R ² = 0,62

continua

continuação da Tabela 9

McMurray et al.(110)	Tritac R3D	n = 308 8-18 anos	VO_2 (ml/min) = (0,32.counts.min ⁻¹) + (6,97.estaura) + 6,19.(massa corporal) - 857,86 → R _c = 0,81
Puyau et al.(54)	Actiwatch	n = 32 7-18 anos	GE (kcal.kg.min ⁻¹) = 0,00441 + 0,00032 (counts.min ⁻¹) ^{0,724} → R ² = 0,79
Puyau et al.(36)	Actiwatch	n = 26 6-16 anos	GEA (kcal/kg/min ⁻¹) = 0,0144 + 0,000038.(counts.min ⁻¹) → R ² = 0,81
Eston et al.(98)	Tritac R3D	n = 30 8-12 anos	sVO ₂ (ml.kg ^{-0,75} .min ⁻¹) = 25,640 + 0,012.(counts.min ⁻¹) → R ² = 0,82

GE = gasto energético; GEA = gasto energético da atividade; VO₂ = consumo de oxigênio; sVO₂ = consumo de oxigênio escalonado R² = coeficiente de explicação; R_c = coeficiente de correlação de concordância; estatura em cm; idade em anos; massa corporal em kg; FC > sono = frequência cardíaca acima do sono; FC>repouso = frequência cardíaca acima do repouso; sexo^a = (0 = rapazes e 1 = moças); sexo^b = (0 = moças e 1 = rapazes).

Tabela 10. Limiares para diferentes tipos de acelerômetros destinados à estimativa da intensidade da atividade física

Estudo	Acelerômetro	Amostra	Pontos de corte e indicadores de validade			
			Sedentária	Leve	Moderada	Vigorosa
De Bock et al.(65)	Actiheart	3-6 anos n=33	♂ <46 c.15s S:78%;E:52% ♀ <26 c.15s S:75%;E:61%	-----	♂ FC >134 bpm e >118 c.15s ♀ FC >138 bpm e >105 c.15s	-----
Arvidsson et al.(107)	ActiReg	11-13anos n=20	-----	-----	FA = 0,97 ND	MP = 38 ND
Tanaka et al.(111)	Activtracer	5-6 anos n = 27	-----	-----	395-1037 c.5s S:77%; E:94%	≥1038 c.5s ND
Welk et al.(112)	Biotrainer	8-12 anos n=30	-----	-----	4000 c.min S:61%;E:93%	-----
Puyau et al.(54)	Actiwatch	7-18 anos n=32	<50 c.min	50-699 c.min S:86%;E=71 %	700-2499 c.min S:92%;E:68%	≥2500 c.min S:97%;E=66%
Puyau et al.(36)	Actiwatch	6-16 anos n=26	<100 c.min	100-899 c.min	900-2199 c.min	≥2200 c.min

S = sensibilidade; E = especificidade; c.min = *counts* por minuto; c.5s = *counts* por 5 segundos; FC = frequência cardíaca; bpm = batimentos por minuto; FA = fator de atividade; MP = mudanças de posições.

Para calibrar o Actiheart em uma amostra de pré-escolares, De Bock et al.(65) observaram, de forma direta, 33 crianças em ambiente escolar durante atividades livres e estruturadas de alta intensidade. Limiares específicos ao sexo foram derivados para atividades sedentárias e para atividades de intensidade moderada a vigorosa a partir de informações combinadas e isoladas de acelerometria e frequência cardíaca. Ao testar estes limiares em atividades livres realizadas nas pré-escolas, estes autores verificaram que a combinação da acelerometria com a frequência cardíaca resultou em maiores taxas de correta classificação das atividades moderadas a vigorosas (87 e 91% para meninos e meninas, respectivamente). Por outro lado, a acelerometria de forma isolada apresentou melhores taxas de correta classificação das atividades sedentárias (67 e 69% para meninos e meninas) em relação à combinação acelerometria/frequência cardíaca (59 e 67% para meninos e meninas, respectivamente). Estes achados sugerem que em atividades de maior intensidade, a elevação dos batimentos cardíacos parece potencializar a discriminação da intensidade da atividade física em combinação com a acelerometria, enquanto que em atividades de pouco esforço físico, as variações na frequência cardíaca decorrentes de outros fatores (ex: estresse emocional) tende a diminuir a acurácia para a identificação do comportamento sedentário.

O ActiReg é composto por dois pequenos sensores que são fixados no osso esterno e na parte frontal da coxa direita, além de uma unidade de armazenamento que é posicionada na cintura. O ActiReg registra a ausência de movimento (0.00), movimento em um dos sensores (0.50) ou em ambos os sensores (1.00) e determina um valor médio a cada minuto denominado fator atividade (FA). Além disso, a posição do corpo, resultante do ângulo entre os sensores posicionados no esterno e na coxa, também é determinado e usado para detectar altas intensidades de atividade. Utilizando a calorimetria indireta como método de referência, Arvidsson et al.(107) calibraram o ActiReg em 20 adolescentes (11-13 anos) mediante um protocolo de caminhada e corrida em esteira rolante. Adotando critérios de 3 e 6 MET's, limiares foram derivados para atividades moderadas e vigorosas (Tabela 10).

O SenseWear Pro Armband é um acelerômetro que combina cinco diferentes sensores em um único dispositivo para monitorar uma série de parâmetros fisiológicos (resposta galvânica da pele, fluxo de calor, temperatura da pele) e de movimentos (aceleração). Para calibrar este acelerômetro, Dorminy et al.(68) monitoraram vinte e um adolescentes (10 a 14 anos) em uma sala de calorimetria durante 24 horas. Modelos de predição do gasto energético total e do gasto energé

despendido em atividades sedentárias e exercícios realizados em esteira rolante foram elaborados e explicaram entre 98 e 99% do gasto energético mensurado pela calorimetria. Quando submetidos à validação em uma amostra independente, estes modelos apresentaram menores erros de predição do gasto energético em relação àqueles observados para as estimativas realizadas pelo próprio instrumento. No único estudo de calibração do acelerômetro 3dNX™ em jovens, Carter et al.(108) mediram o gasto energético de 23 adolescentes durante dez dias por meio da técnica de água duplamente marcada e desenvolveram dois modelos de predição do gasto energético. No primeiro modelo, informações registradas pelo 3dNX™ foram combinadas com medidas de massa corporal e sexo e explicaram 62% do gasto energético total (EPE = 1652 kJ.dia⁻¹). Em seguida, um novo modelo foi desenvolvido tendo como variáveis preditoras a massa livre de gordura e os valores de *counts* registrados pelo 3dNX™. As estimativas do gasto energético foram melhoradas em relação ao modelo anterior ($R^2 = 0,78$; EPE = 935 kJ.dia⁻¹), sugerindo que as variáveis relacionadas à composição corporal podem melhorar as estimativas do gasto energético a partir da acelerometria.

Welk et al.(112) identificaram limiar para *counts* do acelerômetro Biotrainer relacionado às atividades físicas de intensidade moderada em crianças e adolescentes. Trinta sujeitos (8 a 12 anos) participaram do estudo e sete atividades estruturadas compuseram o protocolo de calibração. A técnica de observação direta foi adotada como método de referência. Procedimentos estatísticos de regressão linear e de curvas ROC renderam limiares de 4680 e 3000 *counts.min⁻¹*, respectivamente. Na fase de validação cruzada, o primeiro limiar se mostrou mais específico (97,5%) do que sensível (52,2%), enquanto o segundo apresentou valores de sensibilidade e especificidade moderados (78%). Assim, um valor intermediário de 4000 *counts.min⁻¹*, o qual refletiu a combinação entre os dois métodos estatísticos, foi sugerido como mais apropriado para a identificar atividades físicas de intensidade moderada (sensibilidade = 60,9%; especificidade = 93,2%).

Limiaries relacionados às atividades físicas de intensidade moderada e vigorosa foram desenvolvidos para o acelerômetro triaxial ActivTracer, em uma amostra envolvendo pré-escolares japoneses(111). O protocolo de calibração utilizou atividades físicas cotidianas. Para derivação dos limiares, modelos de predição do gasto energético foram elaborados. A sensibilidade e a especificidade para a discriminação das atividades de intensidade leve e moderada foram de 77 e 94%,

respectivamente. Indicadores de validade relacionados ao limiar de atividades vigorosas não foram apresentados.

Adotando os mesmos procedimentos metodológicos utilizados para a calibração dos acelerômetros Actical e ActiGraph em crianças e adolescentes, Puyau et al.(36, 54) desenvolveram modelos de predição do gasto energético e limiares relacionados às diferentes intensidades da atividade física para o acelerômetro Actiwatch. Em ambos os estudos, após a resolução dos modelos, limiares muito similares foram identificados para atividades sedentárias (50 e 100 *counts.min⁻¹*), moderadas (700 e 900 *counts.min⁻¹*) e vigorosas (2500 e 2200 *counts.min⁻¹*). De uma maneira geral, estes limiares se mostraram mais sensíveis do que específicos (Tabela 10).

2.2.5 Calibração simultânea de diferentes modelos de acelerômetros

A forma de aquisição, processamento e armazenamento das informações registradas por acelerômetros varia conforme o modelo e o fabricante do equipamento. Alguns acelerômetros medem a aceleração do movimento em apenas um plano ortogonal (uniaxiais), enquanto outros medem em dois (biaxiais) ou três planos (triaxiais). Alguns modelos usam de múltiplos sensores, enquanto outros combinam informações de acelerometria com parâmetros fisiológicos. Nesse sentido, a calibração simultânea de diferentes tipos de acelerômetros em um mesmo protocolo de atividades físicas pode fornecer indicativo de superioridade de algum tipo em relação a outro.

No estudo de Puyau et al.(54), o coeficiente de explicação do modelo de estimativa do gasto energético do Actical foi levemente superior em relação àquele observado no modelo que envolveu *counts* do Actiwatch ($R^2 = 0,81$ e $0,79$, respectivamente). Similarmente, no outro estudo de calibração desenvolvido por estes pesquisadores, coeficientes de explicação para os modelos de estimativa do gasto energético foram de 75% para o acelerômetro Actigraph (uniaxial) e de 81% para o Actiwatch (unidirecional).

Corder et al.(66) calibraram três acelerômetros com características distintas em 24 adolescentes (12 a 14 anos) mediante um protocolo progressivo em esteira rolante. O modelo de predição que combinou medidas de acelerometria e frequência cardíaca (acelerômetro Actiheart) produziu melhores estimativas do gasto energético em relação aos modelos derivados a partir de informações de acelerômetros do tipo uniaxial (ActiGraph) ou unidirecional (Actical) ($R^2 = 0,86$, $0,50$ e $0,67$, respectivamente). Quando testados em três diferentes atividades

(caminhada com e sem inclinação e corrida), estimativa do gasto energético a partir do Actiheart se diferenciou do método de referência apenas durante a caminhada com inclinação. Por outro lado, as estimativas do ActiGraph foram estatisticamente diferentes do método referencial para as três atividades, enquanto que os valores preditos pelo Actical foram semelhantes àqueles mensurados pela calorimetria apenas para a atividade de corrida.

Em outro estudo envolvendo os acelerômetros ActiGraph e Actiheart, Corder et al.(67) elaboraram modelos de estimativa do gasto energético da atividade física para adolescentes (11 a 12 anos). As estimativas do gasto energético a partir dos modelos fornecidos por ambos os acelerômetros foram comparáveis e explicaram uma substancial quantia da variância do gasto energético medido pela calorimetria indireta ($R^2 = 0,87$ a $0,91$). O erro médio da estimativa do gasto energético apresentado pelos modelos foi baixo quando todas as atividades foram analisadas em conjunto ($-1,9$ a $-2,5 \text{ J.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Entretanto, quando cada atividade foi examinada separadamente, erros de magnitudes elevadas foram observados, principalmente para o modelo que envolveu medidas do acelerômetro ActiGraph ($-94,0$ a $52,8 \text{ J.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$).

No estudo de Garcia et al.(77), dezesseis crianças foram monitoradas pelos acelerômetros ActiGraph, AMI Mini-Motionlogger (MML) e Biotrainer enquanto desempenhavam um protocolo em esteira rolante em três diferentes intensidades (caminhada, trote e corrida). Com base nas informações obtidas pela calorimetria indireta, modelos de regressão para a predição do gasto energético foram desenvolvidos para cada acelerômetro. Analisando os valores de coeficiente de explicação e do erro padrão de estimativa, os modelos que empregam informações do MML ($R^2 = 0,79$; $EPE = 0,90 \text{ kcal.min}^{-1}$) e do ActiGraph ($R^2 = 0,80$; $EPE = 0,84 \text{ kcal.min}^{-1}$) apresentaram melhor capacidade preditiva comparados ao Biotrainer ($R^2 = 0,62$; $EPE = 1,15 \text{ kcal.min}^{-1}$).

Finalmente, Eston et al.(98) compararam a validade dos acelerômetros Tritac e ActiGraph em 30 crianças (8 a 10 anos) em um protocolo de atividades físicas estruturadas (caminhada e corrida) e não-estruturadas (jogos infantis e pintura de desenhos). Correlações de maiores magnitudes com o VO_2 escalonado para a massa corporal foram observadas para as informações produzidas pelo acelerômetro Tritac em relação ao ActiGraph, tanto quando as atividades foram analisadas de forma conjunta ($r = 0,91$ e $0,78$, respectivamente), bem como quando as atividades estruturadas ($r = 0,88$ e $0,69$, respectivamente) e não-estruturadas ($r = 0,93$ e $0,85$, respectivamente) foram analisadas

isoladamente. Modelos de regressão para a estimativa do VO_2 escalonado elaboradas para ambos os acelerômetros também evidenciaram melhores indicadores de predição para o Tritac ($R^2 = 0,82$; $\text{EPE} = 10,31 \text{ ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$) em relação ao ActiGraph ($R^2 = 0,61$; $\text{EPE} = 15,71 \text{ ml.kg}^{-0,75}.\text{min}^{-1}$).

Os resultados destes estudos não apresentam uma consistente evidência de superioridade de algum modelo de acelerômetro para a medida da atividade física. As melhores estimativas do gasto energético apresentadas pelo Actiheart em relação aos modelos mais tradicionais de acelerômetros foram obtidas em atividades dinâmicas. No entanto, é importante destacar que em atividades sedentárias, as variações na frequência cardíaca decorrentes de fatores emocionais tende a diminuir a acurácia para a identificação do comportamento sedentário por parte deste tipo de acelerômetro.

Em linhas gerais, algumas interpretações podem ser conduzidas a partir da análise dos estudos de calibração apresentados nesta seção. Em primeiro lugar, há um entendimento entre os próprios pesquisadores de que os modelos de predição derivados da acelerometria são mais apropriados para produzir estimativas do gasto energético em nível de grupo do que em nível individual, em virtude de um elevado erro padrão de estimativa que invariavelmente se faz presente nestes modelos. Embora alguns procedimentos estatísticos avançados tenham minimizado o erro de predição em nível individual, o uso destes modelos tende a tornar a interpretação das informações fornecidas pelos acelerômetros um tarefa ainda mais difícil e complexa. Adicionalmente, limiares específicos ao modelo de acelerômetro têm variado amplamente em cada intensidade da atividade física.

2.3 Calibração de acelerômetros em jovens: aspectos metodológicos

A validade dos modelos de regressão e dos pontos de corte oriundos dos valores de *counts* dos diferentes tipos de acelerômetros é atrelada às características metodológicas apresentadas pelos estudos de calibração. A literatura tem discutido as principais limitações inerentes a estes estudos, as quais incluem: a) tamanho e características da amostra; b) protocolo de atividades físicas adotado para calibrar os acelerômetros; c) a quantidade de unidades de acelerômetros utilizadas; d) tamanho do *epoch*; e) critérios adotados para determinar a intensidade da atividade física; f) procedimento estatístico.

2.3.1 Tamanho e características da amostra

Recomenda-se que em estudos de calibração de acelerômetros envolvendo crianças e adolescentes, a amostra selecionada apresente similaridade em relação à população alvo em termos de idade, tamanho corporal e padrões comportamentais, além de ser suficientemente ampla e heterogênea para representar a variabilidade natural existente na população(73). Esta preocupação está alicerçada em dois aspectos principais: a) em uma possível variação sistemática no *output* dos acelerômetros conforme a idade, em decorrência de variações relacionadas à maturação na estatura, massa corporal ou biomecânica do movimento(25, 73) e; b) na influência do tamanho ou adiposidade corporal sobre os valores de MET's registrados em diferentes atividades físicas praticadas por crianças e adolescentes(73).

De fato, as associações entre o gasto energético e os valores de *counts* dos acelerômetros parecem ser confundidas pelo crescimento e pelo estágio maturacional. Ekelund et al.(113) mediram o gasto energético (água duplamente marcada) e o movimento corporal (acelerometria) de crianças e adolescentes durante um período de dez a 14 dias. Estes pesquisadores constataram que durante este período, a quantidade de movimentos corporais e o gasto energético corrigido pela massa corporal ou massa corporal magra foram estatisticamente superiores nas crianças em relação aos adolescentes. Contudo, quando interpretado em termos absolutos, os valores de gasto energético foram significativamente superiores entre os adolescentes. Ainda nessa linha de raciocínio, tem se observado que o comprimento da perna e a frequência de passada podem afetar a validade da estimativa do gasto energético por meio dos valores de *counts* dos acelerômetros(114-115).

Adicionalmente, Harrel et al.(116) analisaram os equivalentes metabólicos de atividades comumente praticadas por crianças e adolescentes conforme a idade e o estágio maturacional e observaram que: a) o gasto energético em repouso é maior nas crianças e adolescentes do que em adultos. Assim, o uso do valor de consumo de oxigênio de $3,5 \text{ ml.kg.min}^{-1}$ para representar 1 MET é inadequado em jovens e pode levar a uma subestimação do gasto energético neste grupo populacional; b) o gasto energético registrado em repouso ou em atividades físicas varia conforme o estágio maturacional e; c) a relação gasto energético da atividade / gasto energético em repouso é levemente menor em crianças e adolescentes em relação aos adultos em diferentes tipos de atividades físicas, e, que o uso desta relação é melhor do que a

utilização da definição padrão de MET adotada para adultos ($3,5 \text{ ml.kg.min}^{-1}$).

Em termos práticos, os resultados dos estudos supracitados sugerem a adoção de alguns procedimentos para minimizar o efeito do estágio maturacional e/ou do tamanho corporal em estudos de calibração de acelerômetros envolvendo crianças e adolescentes. Uma estratégia engloba a derivação de modelos de predição do gasto energético específicos a um grupo etário(28), ou, inclusão da idade e/ou de variáveis relacionadas à composição corporal nos modelos de predição do gasto energético derivados da acelerometria(73). Além disso, quando escores de METs são utilizados para categorizar intensidades da atividade física para determinação de limiares de acelerômetros, ou, quando estes escores são utilizados como variável a ser predita em modelos de regressão, recomenda-se que os mesmos sejam computados individualmente, evitando-se, portanto, estimativas de METs em nível de grupo ou a partir da definição padrão utilizada para adultos.

É importante destacar que ainda não há um claro entendimento sobre como as dimensões corporais ou a biomecânica do movimento podem afetar o *output* dos acelerômetros. Reilly et al.(25) monitoraram 108 crianças de diferentes grupos etários (3-4 anos, 5-8 anos e 9-10 anos) durante 45 a 55 minutos de prática de atividades físicas e não observaram variações sistemáticas entre os grupos etários nos valores de *counts* registrados pelo *output* do ActiGraph em SED e MVPA. Corroborando com estes achados, Evenson et al.(34) não identificaram diferenças nas áreas sob a curva ROC por grupo etário (5-6 anos versus 7-8 anos) ao derivarem limiares para os acelerômetros ActiGraph e Actical destinados a identificação das SED, MVPA e VPA. Dentre os estudos de calibração de acelerômetros em jovens, o único a derivar limiares específicos à idade foi conduzido por Sirard et al.(32). No entanto, ressalta-se que estes limiares foram similares e que estes pesquisadores não testaram se a capacidade de predição das diferentes intensidades da atividade física foi melhorada pelo uso de limiares específicos à idade. Assim, considerando a falta de um consenso sobre o impacto das dimensões corporais sobre o *output* da acelerometria, o uso de análises estratificadas por grupo etário é recomendado durante o processo de derivação de limiares de acelerômetros em crianças e adolescentes.

2.3.2 Protocolo de atividades físicas

Outro importante aspecto metodológico diz respeito à escolha das atividades físicas que compõem o protocolo de calibração, visto que estas exercem grande influência sobre o modelo de predição e/ou limiar a serem desenvolvidos(64). Recomenda-se que as atividades selecionadas sejam representativas do tipo e da intensidade daquelas realizadas pela população alvo(73). No entanto, vários modelos de estimativa do gasto energético e limiares relacionados à intensidade do movimento foram elaborados por meio de protocolos laboratoriais que envolveram apenas, ou em sua maioria, atividades ambulatoriais (caminhadas e corridas)(30, 53, 55-56, 66, 77-78, 81, 101, 103, 107). Aparentemente, os modelos de predição do gasto energético baseados em atividades ambulatoriais tendem a subestimar o gasto energético em atividades do cotidiano(73). Além disso, limiares derivados a partir de atividades ambulatoriais tendem a serem maiores do que aqueles derivados a partir da combinação entre atividades físicas ambulatoriais e não-ambulatoriais(57).

Assim, alguns estudos de calibração têm procurado envolver atividades que fazem parte do cotidiano de crianças e adolescentes, e, do contexto cultural em que estes estão inseridos, com o intuito de desenvolver estimativas da atividade física com maior grau de validade externa(33-38, 54, 57-58, 65, 68, 70, 99, 105, 108, 110-112). Nesse sentido, informações quanto aos hábitos de atividades físicas praticadas por adolescentes brasileiros são relativamente escassas. Sarriera et al.(117) analisaram o uso do tempo livre de 159 escolares (12 a 18 anos) de baixo nível econômico da cidade de Porto Alegre e verificaram que 42% do tempo diário destes adolescentes eram destinados às atividades rotineiras (descanso, higiene, alimentação), 21% às atividades escolares, 10% assistência a televisão, 7% para atividades de deslocamento e 5% para serviços domésticos. Quando a análise foi restrita ao tempo livre, especificamente para a faixa etária entre 12 e 14 anos, a ocupação deste período do dia envolveu as seguintes atividades: assistir televisão (30,7%), lazer fora de casa (19,2%), atividades esportivas (11,4%), sair com amigos (11,0%), brincadeiras infantis (7,7%), encontro familiar (5,9%), uso de computador e jogos eletrônicos (5,6%) e atividades culturais (5,1%).

No que se refere às atividades físicas praticadas no lazer, Hallal et al.(118) verificaram em uma amostra representativa de adolescentes da cidade de Pelotas (10 a 12 anos) que as atividades mais praticadas pelos meninos foram o futebol, o voleibol e o jogo de queimada,

enquanto que entre as meninas foram o voleibol, o jogo de queimada e o futebol. Silva e Malina(119) observaram que as atividades físicas mais praticadas por adolescentes da cidade do Rio de Janeiro foram o futebol, a corrida em intensidade moderada e andar de bicicleta entre os meninos, e, a caminhada, a dança e andar de bicicleta entre as meninas. Além disso, constatou-se que o tempo médio de assistência à televisão variou entre 4,4 e 4,9 horas por dia para meninos e meninas, respectivamente.

Apesar da preocupação em selecionar atividades representativas do cotidiano de uma população, cuidados devem ser tomados para não envolver atividades que possuam movimentos que não são registrados satisfatoriamente pelo acelerômetro. Em protocolos de calibração envolvendo crianças e adolescentes, tem se observado que certas atividades (andar de bicicleta, caminhar em inclinação, *step*, subir degraus, aspirar e remover poeiras) mensuradas pelos acelerômetros não apresentam valores de *counts* compatíveis com os valores de consumo de oxigênio registrados nas mesmas atividades(34, 37, 56, 99, 110). Sendo assim, estas atividades não têm sido englobadas para o desenvolvimento de pontos de corte ou limiares relacionados à intensidade de atividade física.

2.3.3 *Uso de múltiplas unidades de acelerômetros*

O emprego de uma única unidade de acelerômetro para a coleta das informações pode se constituir como uma importante limitação metodológica em estudos de calibração, uma vez que desconsidera a provável variabilidade existente entre acelerômetros de um mesmo fabricante. Conforme demonstrado anteriormente (Tabela 2), alguns modelos de acelerômetros apresentam indicadores de reprodutibilidade de moderada a elevada magnitudes. Entretanto, Rowlands(22) e Trost et al.(27) revisaram a literatura e observaram que a variabilidade entre acelerômetros de um mesmo fabricante aumenta significativamente em movimentos de baixa e alta frequência. Assim, é recomendado o uso de múltiplos monitores em estudos de calibração, adotando-se como estratégia a aleatorização dos mesmos em relação aos participantes do estudo(73). Nesse sentido, apenas treze estudos utilizaram mais do que uma unidade de acelerômetro no protocolo de calibração(30, 32-33, 36-37, 54-55, 65, 70, 99, 103, 107, 112).

2.3.4 Tamanho do epoch

Um importante fator a ser considerado em estudos de calibração de acelerômetros em amostras de crianças e adolescentes se refere ao tamanho do *epoch* adotado para a derivação de limiares ou de modelos de predição do gasto energético. A maioria dos estudos de calibração de acelerômetros realizados com jovens tem adotado intervalos de amostragem de um minuto(31, 35-36, 38, 53-54, 56-58, 66-67, 70, 77-78, 81, 85, 98-99, 101, 105, 112). Apesar de não afetar diretamente a validade dos limiares e/ou modelos de predição durante o processo de calibração dos acelerômetros, o uso de *epochs* de um minuto pode não ser uma estratégia adequada em estudos de monitoramento da atividade física habitual de crianças e adolescentes, em virtude do padrão intermitente quanto à prática de atividades físicas característico nesta população.

Para ilustrar, Baquet et al.(9) monitoraram 26 crianças (8-10 anos) durante sete dias com o acelerômetro ActiGraph mediante intervalos de amostragem de dois segundos. Estes pesquisadores observaram que em média, a duração de uma série de atividade física nestas crianças foi de 22,1 segundos. Além disso, foi constatado que 80% das atividades físicas de intensidade moderada, 93% das atividades que envolveram esforço vigoroso e 96% das atividades de muito vigorosa intensidade duraram menos que 10 segundos. Bailey et al.(8) também observaram curta duração das séries de atividades de baixa, moderada e vigorosa intensidade (< 15 segundos) praticadas por crianças (6 a 10 anos), além de identificarem que as séries de atividades intensas foram intercaladas por períodos de atividades com baixa a moderada intensidade.

Nesse sentido, estudos conduzidos com amostras de pré-escolares(25, 120), crianças(121-124) e adolescentes(122) têm evidenciado o impacto da escolha de diferentes *epochs* (5, 10, 15, 20, 30, 40 e 60 segundos) sobre as estimativas das intensidades das atividades físicas. De um modo geral, estes estudos têm demonstrado que a utilização de intervalos de amostragem de um minuto tende a subestimar o tempo em que crianças e adolescentes gastam em atividades físicas de intensidades vigorosa(120-123) e muito vigorosa(121, 123-124), quando comparados à intervalos de amostragem mais curtos.

De fato, considerando que crianças e adolescentes gastam poucos segundos em atividades intensas, é plausível imaginar que os mesmos alternem duas atividades de diferentes intensidades em um

mesmo minuto (por exemplo, atividade vigorosa seguida de atividade de baixa intensidade). Assim, o acúmulo de *counts* durante o referido minuto refletirá a média de intensidade destas atividades (exemplo, intensidade moderada) e não permitirá que a série de atividade vigorosa seja detectada pelo acelerômetro(27). Dando suporte a esta informação, alguns pesquisadores têm observado que o tempo gasto em atividades de intensidade moderada é significativamente maior a partir do uso de *epochs* de um minuto, em virtude de má classificação de períodos de atividades vigorosas como sendo de intensidade moderada. Entretanto, quando as intensidades são combinadas (moderada + vigorosa), estas diferenças são suavizadas ou perdem significância estatística(122, 124).

Estes resultados indicam que a adoção de curtos *epochs* é recomendada em estudos que objetivam estimar o tempo gasto em diferentes intensidades da atividade física. Apesar de *epochs* de curta duração permitirem registros mais precisos das atividades físicas realizadas por crianças e adolescentes, poucos estudos de calibração têm derivado limiares e/ou modelos de predição a partir de informações de *counts* registradas em curtos intervalos de amostragem(30, 32-34, 55, 65, 103).

2.3.5 Critérios adotados para determinar a intensidade da atividade física

A derivação de limiares de acelerômetros por meio de curvas ROC ou modelos de regressão envolve a determinação de valores de *counts* que melhor distinguem as diferentes intensidades da atividade física. Para tanto, escores de MET's ou valores de gasto energético determinados pela calorimetria indireta (método de referência) são categorizados em intensidades da atividade física por meio de critérios previamente estabelecidos na literatura. Tradicionalmente, limiares de 1,5, 3 e 6 MET's são aceitos como critérios para a determinação de intensidades sedentárias, moderadas e vigorosas, respectivamente(20, 62). No entanto, o uso destes critérios em estudos com crianças e adolescentes tem sido debatido na literatura(116, 125), especialmente no que se refere ao emprego de limiares de 3 ou de 4 MET's para a definição das atividades de intensidade moderada.

Assim, enquanto alguns estudos de calibração de acelerômetros em crianças e adolescentes optaram pelo uso de 3 MET's para definição das atividades moderadas(36, 54-57, 101, 111), outros adotaram o critério de 4 MET's(30, 35, 37, 103). Esta indefinição tem contribuído para o estabelecimento de limiares discrepantes relacionados às

atividades de intensidade moderada. Por exemplo, Mattocks et al.(35) identificaram um limiar de $3600 \text{ counts.min}^{-1}$ para atividades moderadas adotando como critério para esta intensidade o valor de 4 MET's. Ao utilizar um critério de 3 MET's, o limiar foi consideravelmente menor ($2300 \text{ counts.min}^{-1}$).

Trost et al.(51) relataram que a justificativa para o uso de 4 MET's como critério para definição das atividades moderadas é pautada em resultados de alguns estudos que apontaram que a caminhada ativa (~ 5 km/h), um indicador comportamental chave da atividade física de intensidade moderada, é associada com um gasto energético de aproximadamente 4 MET's em crianças e adolescentes. Por outro lado, a velocidade de caminhada associada ao critério de 3 MET's em adultos é de 4 km/h. Em termos médios, o custo energético desta atividade em crianças e adolescentes é de 3,3 MET's(116), o que fundamenta a escolha de um critério de 3 MET's para definição das atividades moderadas neste grupo populacional. À medida que não houver um consenso quanto ao critério mais apropriado para definir atividades de intensidade moderada em crianças e adolescentes, a escolha de limiares de acelerômetros relacionados a esta intensidade da atividade física deverá estar atrelada aos objetivos a serem estudados pelos pesquisadores que atuam nesta área.

2.3.6 Procedimento estatístico

Finalmente, uma das considerações metodológicas mais importantes em estudos de calibração diz respeito aos procedimentos estatísticos utilizados. Usualmente, para a calibração de acelerômetros, pesquisadores buscam desenvolver modelos de estimativa do gasto energético, VO_2 e/ou MET's, ou, derivar limiares relacionados à intensidade da atividade física. Assim, a escolha do procedimento estatístico fica atrelada à estratégia adotada pelo pesquisador durante o processo de calibração dos acelerômetros. Para a estimativa do gasto energético, modelos lineares(36, 54-56, 66-68, 77-78, 81, 98, 105, 108), não lineares(70, 111) e generalizados mistos(30, 35, 37, 99, 103, 110) têm sido utilizados.

Tecnicamente, o uso da regressão linear parece não ser um procedimento adequado, uma vez que em estudos de calibração vários pontos de dados são obtidos para um mesmo indivíduo, o que viola o princípio de independência da regressão múltipla(73). Além disso, tem sido constatado que os valores de *counts* dos acelerômetros não são linearmente relacionados com o gasto energético, principalmente nas

atividades físicas de maior intensidade(99). Os modelos lineares generalizados mistos, por sua vez, apresentam como vantagem o fato de considerarem a natureza repetida dos dados(73). Nesse tipo de análise, interceptos e inclinações são determinados individualmente, mas os valores médios são utilizados no modelo de predição em nível de grupo(73). Finalmente, os modelos de regressão não lineares apresentam uma suposta capacidade de melhorar as estimativas do gasto energético em nível individual, embora apresentem uma tendência de serem instáveis ou de se estabilizarem nas intensidades mais elevadas de esforços físicos(23).

A despeito do uso de quaisquer dos procedimentos estatísticos supracitados, uma recente revisão sistemática constatou que as estimativas do gasto energético por meio de modelos de regressão têm sido suficientes para fornecer informações precisas do gasto energético apenas em nível de grupo, uma vez que os mesmos tendem a apresentar elevado erro padrão de estimativa(126). De fato, Trost et al.(51) atestaram que os modelos de predição derivados da acelerometria não foram desenvolvidos com a finalidade de fornecer estimativas do gasto energético diário, mas sim para estabelecer limiares relacionados à intensidade da atividade física. Para tanto, adotando-se como variável dependente a informação de *counts*, os modelos são solucionados para um valor de gasto energético, VO_2 ou MET's considerados limítrofes entre uma e outra intensidade da atividade física. Assim, o valor de *counts* encontrado após a resolução do modelo é então adotado como limiar para distinguir as intensidades testadas.

Dentro deste contexto, a técnica de curvas ROC vem se consolidando como um atraente método para a identificação de limiares relacionados à intensidade de esforços físicos, tendo grande aceitação em estudos de calibração de acelerômetros envolvendo crianças e adolescentes(31-34, 38, 54-55, 58, 65, 112). A curva ROC se caracteriza como uma representação gráfica de um relativo “conflito de escolha” entre a sensibilidade e a especificidade de diferentes pontos de corte(73). Em estudos de calibração de acelerômetros, o objetivo principal é de determinar um limiar que precisamente identifica uma determinada intensidade de atividade física (sensibilidade) sem registrar outra intensidade (falso positivo). A grande vantagem apresentada por este método é a de que todos os possíveis limiares são testados empiricamente no gráfico correspondente à curva ROC, permitindo ao pesquisador escolher um apropriado ponto de corte baseado em um equilíbrio entre a sensibilidade e especificidade apresentada pelo mesmo. Jago et al.(127) demonstraram que o uso de curvas ROC reduz

substancialmente os erros relacionados à mal classificação de diferentes intensidades da atividade física quando comparado aos métodos mais tradicionais.

É importante destacar que, para superar as limitações dos modelos de predição lineares, não lineares e generalizados mistos, pesquisadores têm lançado mão de procedimentos estatísticos mais avançados, tais como análise discriminante quadrática(128), *hidden Markov models*(128), redes neurais artificiais(129), *cross-sectional time series*(109) e *multivariate adaptative regression splines models*(100, 106). Estes procedimentos apresentam a vantagem de refinarem as medidas de gasto energético em relação aos modelos mais tradicionais. No entanto, a complexidade inerente a estes modelos limitam o seu uso em grande escala em estudos de monitoramento da atividade física a partir da acelerometria.

CAPÍTULO 3

3. LIMIARES DE ACELERÔMETROS PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM CRIANÇAS E ADOLESCENTES: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA²

RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar a validade (critério) e a generalidade (validade cruzada) dos limiares de acelerômetros para distinguir diferentes intensidades de atividade física em crianças e adolescentes. Uma busca sistemática da literatura foi conduzida nas bases de dados Pubmed, Scopus, Sports Discus e Web of Science. Critérios de inclusão foram: a) derivação e/ou validação de limiares de acelerômetros relacionados à intensidade da atividade física em jovens (2 a 18 anos); b) uso da calorimetria indireta ou a observação direta como método de referência e; c) estudos em língua inglesa, espanhola ou portuguesa. Dezenove estudos foram selecionados. Os acelerômetros mais investigados foram o ActiGraph, o RT3 e o Actical. Limiares apresentaram boa a moderada validade na fase de calibração (sensibilidade = 68-100%; especificidade = 61-100%). Generalidade dos limiares foi maior quando estes foram testados em amostras independentes (Kappa = 0,72-0,91; sensibilidade = 79-94%; especificidade = 72-98%) do que em atividades independentes (Kappa = 0,46-0,71; sensibilidade = 27-97%; especificidade = 52-95%). Um único estudo de calibração testou a validade dos limiares em amostras e atividades independentes e apenas um estudo de validação de limiares foi localizado. Em conclusão, limitada informação foi constatada quanto à generalidade dos limiares de acelerômetros para o monitoramento da atividade física habitual de crianças e adolescentes. Estudos de validação são necessários para identificar limiares apropriados para cada modelo de acelerômetro.

Palavras-chave: Calibragem, Validade dos Testes, Atividade Motora, Movimento.

² Artigo publicado na Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano 2012;14(1):101-13.

Coautores: Edio Luiz Petroski – UFSC, Felipe Fossati Reichert - UFPel

Introdução

O uso da acelerometria tem sido cada vez mais comum em estudos sobre atividade física envolvendo crianças e adolescentes¹. Acelerômetros são dispositivos eletrônicos que medem a aceleração do movimento corporal² e permitem quantificar de forma objetiva a frequência, duração e intensidade da atividade física. Apesar de não fornecer informações contextuais das atividades realizadas³ e não medir corretamente determinadas atividades^{3,4}, o uso de acelerômetros em estudos com crianças e adolescentes evita o viés de informação, permite melhorar o entendimento da relação entre atividade física e saúde, além de identificar achados que não são perceptíveis pelo uso de medidas subjetivas⁵.

Em termos operacionais, a medida do acelerômetro (*counts*) deve ser traduzida em uma variável com significado biológico ou comportamental⁶. Este processo é denominado de calibração e envolve a identificação de limiares relacionados à intensidade da atividade física, ou, a transformação dos valores de *counts* em unidades de gasto energético, tendo como métodos de referência a calorimetria ou a observação direta. Visto que a relação entre *counts* e medidas biológicas ou comportamentais é influenciada por parâmetros físicos e fisiológicos⁶ e, que a coleta e armazenamento de dados difere entre os modelos de acelerômetros², recomenda-se que limiares e/ou modelos de predição do gasto energético sejam específicos à população e ao modelo de acelerômetro.

Nos últimos anos, diferentes tipos de acelerômetros foram calibrados em amostras de crianças em adolescentes e vários limiares e modelos de predição foram disponibilizados. No entanto, tem sido observado que o tempo gasto por jovens em atividades físicas de intensidade moderada a vigorosa varia significativamente conforme o limiar adotado⁷⁻⁹. Isto pode dificultar a comparação entre estudos de prevalência de atividade física, bem como afetar a precisão das medidas de efeito em estudos de associação da atividade física com desfechos em saúde.

Recentemente, de Graauw et al.¹⁰ revisaram a validade de modelos de predição derivados de *counts* de acelerômetros e constataram que os mesmos fornecem medidas precisas do gasto energético relacionado à atividade física de crianças e adolescentes apenas em nível de grupo. Por outro lado, nenhum estudo revisou, sistematicamente, os limiares disponíveis para cada modelo de acelerômetro e seus respectivos indicadores de validade neste grupo

populacional. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é revisar, de forma sistemática, a validade e a generalidade dos limiares para *counts* de acelerômetros destinados à classificação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.

Métodos

Realizou-se uma busca nas bases de dados *PubMed*, *Scopus*, *Sports Discus* e *Web of Science* para a localização de manuscritos que derivaram e/ou validaram limiares para *counts* de acelerômetros destinados à determinação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. A busca compreendeu todo período de existência das bases, até janeiro de 2011. A tabela 1 apresenta a estratégia de busca utilizada em cada base.

Tabela 1. Busca na literatura

Bases	Combinação de descritores
<i>Pubmed</i> <i>Web of Science</i> <i>Scopus</i> <i>Sports Discus</i>	<i>(accelerometer* or accelerometry or motion sensor* or activity monitor* or ActiGraph or Actical or Actiwatch or RT3 or Tritac or R3D or Mini-mitter) and (validity or validities or validity of results or validity and reliability or validation or valid or calibration or cut-points or cut-off or threshold*) and (physical activity or physical activities or locomotor activity or motor activities or sedentary or moderate or vigorous or energy expenditure or free-living activities) and (adolescent* or teen* or teenager* or youth* or adolescence or child or children or early childhood or young child or students or young or preschool*)</i>

Foram incluídos na revisão os estudos que atenderam os seguintes critérios: a) elaboração e/ou validação de limiares para a identificação da intensidade da atividade física a partir de *counts* registrados por acelerômetros; b) amostra composta por crianças e/ou adolescentes (2-18 anos); c) utilização da calorimetria indireta ou a observação direta como método de referência; d) artigo original de pesquisa publicado nas línguas inglesa, portuguesa ou espanhola. Artigos cuja calibração de acelerômetros foi apresentada secundariamente como parte do estudo na seção de métodos, resumos, artigos de revisão, dissertações, teses, monografias, capítulos de livros e

estudos duplicados foram excluídos. As referências bibliográficas dos estudos selecionados foram revisadas na tentativa de se encontrar algum estudo não identificado na busca eletrônica. Nenhum estudo foi adicionalmente localizado.

Com o intuito de permitir comparabilidade entre limiares e indicadores de validade derivados para cada modelo de acelerômetro, foram extraídas de cada estudo informações relacionadas às características da amostra, protocolo de atividades físicas, medida de referência e método utilizado para derivar os limiares. Adicionalmente, dois revisores (MR e FFR) avaliaram independentemente os estudos selecionados quanto à sua qualidade metodológica por meio de um *checklist* modificado empregado anteriormente em outros estudos^{10,11} (Tabela 2). As divergências na extração das informações foram solucionadas por um terceiro revisor (ELP).

Tabela 2. *Checklist* com base no desenho do estudo (D), itens de validade (V) e viabilidade (VI)

D1	Escore	Características da amostra (n, sexo, idade, peso, estatura, IMC, %gordura, estado de saúde)
	1,0	≥6 características da amostra são descritas
	0,5	4-5 características da amostra são descritas
	0,0	≤3 características da amostra são descritas
D2		Protocolo
	1,0	Informação sobre atividades, duração e período de uso do acelerômetro
	0,5	Informação sobre o período de uso do acelerômetro não é apresentado
	0,0	Não claro para todos
D3		Medidas
	1,0	Completa informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>)
	0,5	Alguma informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>) não é apresentada
	0,0	Muito limitada informação sobre o acelerômetro (tipo, <i>output</i> , epoch, colocação) e método(s) de referência (tipo, <i>output</i>)

continua

continuação da Tabela 2

D4	Análises estatísticas
1,0	Completa informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
0,5	Alguma informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
0,0	Muito limitada informação sobre as análises estatísticas (testes, análises de sub-grupos), software do pacote estatístico e valor de P
V1	Validade de critério é relatada para os limiares?
1,0	Sim
0,0	Não
V2	Adequada medida de validade critério?
1,0	Sensibilidade/especificidade
1,0	Limites de concordância de 95% (Bland e Altman)
0,5	<i>Cohen's</i> Kappa
0,5	Percentual de concordância
0,5	Coefficiente de correlação intraclasse, produto-momento de Pearson ou ordem de <i>rank</i> de Spearman
0,0	Outras medidas
V3	Aceitável nível de validade critério?
+	Sensibilidade e especificidade $\geq 80\%$, $\kappa > 0,60$, percentual de concordância $\geq 90\%$, $r > 0,75$
\pm	Sensibilidade e especificidade $\geq 60\%$, $\kappa > 0,40$, percentual de concordância $\geq 70\%$, $r > 0,50$
-	Sensibilidade e especificidade $< 60\%$, $\kappa \leq 0,40$, percentual de concordância $< 90\%$, $r \leq 0,50$
V4	Validação cruzada é relatada para os limiares?
1,0	Sim
0,0	Não
V5	Adequada medida de validade cruzada?
1,0	Sensibilidade/especificidade
1,0	Limites de concordância de 95% (Bland e Altman)
0,5	<i>Cohen's</i> Kappa
0,5	Percentual de concordância
0,5	Coefficiente de correlação intraclasse, produto-momento de Pearson ou ordem de <i>rank</i> de Spearman
0,0	Outras medidas

continua

continuação da Tabela 2

V6	Aceitável nível de validade cruzada?	
+	Sensibilidade e especificidade $\geq 80\%$, $\kappa > 0,60$, percentual de concordância $\geq 90\%$, $r > 0,75$	
\pm	Sensibilidade e especificidade $\geq 60\%$, $\kappa > 0,40$, percentual de concordância $\geq 70\%$, $r > 0,50$	
-	Sensibilidade e especificidade $< 60\%$, $\kappa \leq 0,40$, percentual de concordância $< 70\%$, $r \leq 0,50$	
VII	A quantia de perdas de dados devido ao (mal funcionamento do) acelerômetro é relatada?	
1,0	Sim	
0,0	Não	
VII2	Aceitável quantia de perdas de dados?	
+	$\leq 5\%$	
-	$> 5\%$	

A validade (critério) e a generalidade (validade cruzada) dos limiares foram analisadas por meio do procedimento estatístico adotado e da magnitude das medidas. Validade foi considerada a partir da comparação da classificação da intensidade da atividade física de cada limiar contra uma medida critério. Generalidade foi considerada a partir da comparação da classificação da intensidade da atividade pelos limiares de acelerômetros em relação aos métodos de referência a partir de amostras e/ou atividades independentes. Medidas adequadas de validade incluíram a sensibilidade/especificidade e limites de concordância de 95% de Bland e Altman. Outras medidas de validade foram o percentual de concordância, coeficiente de concordância de Kappa (κ), coeficientes de correlação intraclasse, produto-momento de Pearson (r) e ordem de *rank* de Spearman¹². Arbitrariamente, valores de sensibilidade e especificidade $\geq 80\%$ indicaram boa validade (+), $\geq 60\%$ moderada validade (\pm) e $< 60\%$ pobre validade (-). Alternativamente, boa validade (+) foi atribuída para $\kappa > 0,60$, percentual de concordância $\geq 90\%$ ou $r > 0,75$, moderada validade (\pm) para $\kappa > 0,40$, percentual de concordância $\geq 70\%$ ou $r > 0,50$, e, pobre validade (-) para $\kappa \leq 0,40$, percentual de concordância $< 70\%$ ou $r \leq 0,50$ ¹³.

Resultados

Foram identificados 1558 estudos, dos quais 19 foram selecionados (Figura 1).

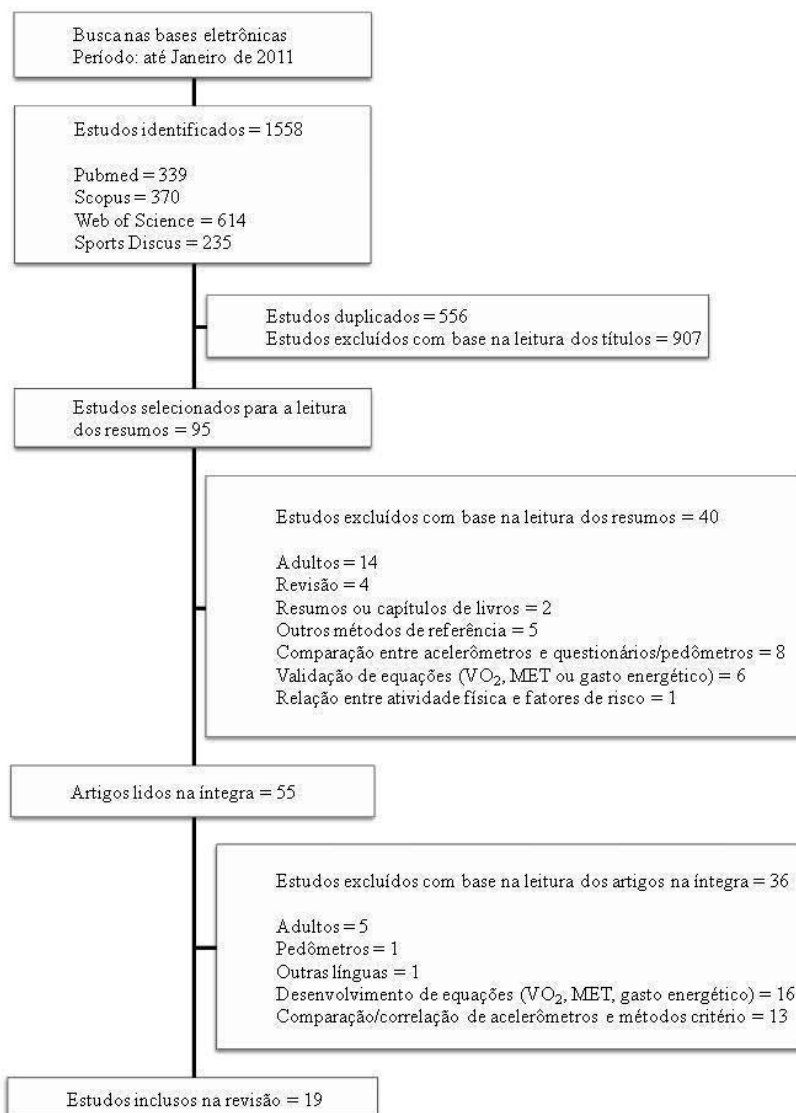


Figura 1. Processo de seleção dos estudos

Estes estudos forneceram limiares para sete diferentes modelos de acelerômetros. Os acelerômetros mais investigados foram o ActiGraph, o RT3 e o Actical. No total, foram identificados 16 limiares para a caracterização das atividades sedentárias (SED), 23 limiares relacionados às atividades de intensidade moderada (MOD) e 20 limiares relacionados às atividades vigorosas (VIG). Cinco estudos utilizaram a observação direta como método de referência¹⁴⁻¹⁸, enquanto os demais utilizaram a calorimetria indireta para a calibração dos acelerômetros. Um estudo avaliou a generalidade de limiares previamente publicados para o ActiGraph¹⁹. Oito apresentaram análises de validação cruzada, mas apenas um utilizou amostra e atividades independentes¹⁷.

Escores derivados do *checklist* indicaram moderada qualidade metodológica dos estudos (média $5,6 \pm 1,4$ pontos; variação 3,5 a 8,0 pontos). Cinco estudos apresentaram elevada qualidade metodológica (>6 pontos)^{14,16,17,20,21}, enquanto que os demais apresentaram moderada qualidade (3,5 a 6,0 pontos). Informações sobre a viabilidade de acelerômetros foram relatadas em um único estudo e indicou aceitável quantia de perdas para o ActiGraph ($<5\%$)²⁰.

Limiares e Validade

Em geral, limiares apresentaram boa a moderada validade na fase de calibração (sensibilidade = 68-100%; especificidade = 61-100%) (Tabela 3). Para o ActiGraph, boa validade foi identificada para os limiares relacionados às SED (sensibilidade = 86-100%, especificidade = 91-100%), enquanto que moderada a boa validade foi verificada para os limiares destinados às MOD (sensibilidade = 77-96%, especificidade = 61-100%) e VIG (sensibilidade = 68-100%, especificidade = 80-95%). Especificamente para crianças e adolescentes (6 a 18 anos), limiares para o ActiGraph variaram entre 100 e 800 *counts.min*⁻¹ para SED, 1900 e 3600 *counts.min*⁻¹ para MOD e 3900 e 8200 *counts.min*⁻¹ para VIG. Para pré-escolares (2 a 5 anos), limiares variaram entre 1100 e 1600 *counts.min*⁻¹, 1680 e 3560 *counts.min*⁻¹ e, 3370 e 5020 *counts.min*⁻¹ para SED, MOD e VIG, respectivamente.

Tabela 3. Limiares para *counts* de acelerômetros relacionados à intensidade da atividade física (n=18).

Características	Limiares	Validade	Generalidade
ActiGraph (crianças e adolescentes)			
Vanelst et al. ²²			
Amostra: n=40 (10-16 anos); Atividades: repouso, ler, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar (1,5 e 3km/h), correr (4 e 6 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curva ROC	SED=0-400 c.min LEV=401-1900 c.min MOD=1901-3918 c.min VIG>3918 c.min	----- ----- ----- -----	κ=0,85 κ=0,72 κ=0,88 κ=0,91
Evenson et al. ²³			
Amostra: n=33 (5-8 anos); Atividades: sentado, ver DVD, colorir, caminhar (3,2 e 4,8 km/h), subir degraus, dribles de basquete, pedalar, polichinelos, correr (6,4km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED=0-25 c.15s LEV=26-573 c.15s MOD=574-1002 c.15s VIG≥1003 c.15s	S=95%; E=93% ----- S=77%; E=81% S=68%; E=89%	S=100%; E=79%* S=49%; E=91%* S=88%; E=92%* S=74%; E=94%*
Mattocks et al. ²⁰			
Amostra: n=163 (12 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, caminhar (lento e rápido) e correr em ritmo próprio, amarelinha. Critério: calorimetria indireta. Método: modelo regressão	MOD=3581-6129 c.min VIG≥6130 c.min	S=96%; E=61% S=74%; E=95%	S=57%; E=99%* S=31%; E=99%*
Treuth et al. ²⁴			
Amostra: n=74 (13-14anos); Atividades: repouso, ver TV, jogar no computador, varrer, caminhar (4 e 5,6 km/h), passos aeróbicos, andar de bicicleta (19 km/h), arremessos basquetebol, subir degraus, correr (8km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: análise de falsos positivos e negativos	SED=0-50 c.30s LEV=51-1499 c.30s MOD=1500-2600 c.30s VIG>2600 c.30s	----- ----- ----- -----	S=100%; E=79%* S=55%; E=81%* S=74%; E=96%* S=48%; E=99%*

continua

continuação da Tabela 3

Puyau et al. ²⁵			
Amostra: n=26 (6-16 anos); Atividades: jogar videogame, colorir, brincar com objetos, exercícios de aquecimento, caminhar (4 e 5,6 ou 6,4 km/h), artes marciais, jogos diversos, correr (6,4 ou 8 ou 9,6 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	SED=0-800 c.min LEV=800-3199 c.min MOD=3200-8199 c.min VIG≥8200 c.min	----- ----- ----- -----	S=100%; E=61%* S=12%; E=73%* S=54%; E=99%* S=7%; E=100%*
ActiGraph (pré-escolares)			
Cauwenbergh et al. ¹⁵			
Amostra: n=18 (4-6 anos); Atividades: sentado, em pé, desenhar, caminhar e correr na esteira em 7 velocidades, caminhar em solo e jogos livres. Critério: observação direta. Curvas ROC	SED=0-372 c.15s LEV=373-584 c.15s MOD=585-880 c.15s VIG≥881 c.15s	S=86%; E=91% ----- S=87%; E=82% S=88%; E=91%	----- ----- ----- -----
Pate et al. ²⁶			
Amostra: n=30 (3-5 anos); Atividades: caminhar (3,2 e 4,8 km/h) e correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: inspeção visual de dados VO ₂	MOD=420-841 c.15s VIG≥842 c.15s	----- -----	S=97%; E=86% S=66%; E=95%
Sirard et al. ¹⁷			
Amostra: n=16 (3-5 anos); Atividades: sentado, jogar sentado, caminhada lenta e rápida, correr. Critério: observação direta. Método: curvas ROC	SED<301 ^a , 363 ^b , 398 ^c c.15s MOD≥615 ^a , 812 ^b , 891 ^c c.15s VIG≥1231 ^a , 1235 ^b , 1255 ^c c.15s	S=94-100%; E=92-100% S=87-93%; E=67-100% S=96-100%; E=80-83%	r=0,70 r=0,46 r=0,61
Reilly et al. ¹⁸			
Amostra: n=30 (3-4 anos); Atividades: não consta. Critério: observação direta. Método: curvas ROC	SED<1100 c.min	-----	S=83%; E=82%

continua

continuação da Tabela 3

RT3

Vanhelst et al.²⁷

Amostra: n=40 (10-16 anos); Atividades: repouso, ler, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar (1,5 e 3km/h), correr (4 e 6 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curva ROC	SED=0-40 c.min	----	κ=0,87
	LEV=41-950 c.min	----	κ=0,75
	MOD=951-3410 c.min	----	κ=0,91
	VIG>3410 c.min	----	κ=0,89

Kavouras et al.²⁸

Amostra: n=42 (10-14 anos); Atividades: caminhar (4 e 6 km/h), correr (8 km/h), caminhada em inclinação (4 e 6 km/h a 6% de graduação). Critério: calorimetria indireta. Método: modelo de regressão	MOD=1323-2609 c.min	----	----
	VIG≥2610 c.min	----	----

Chu et al.²¹

Amostra: n=35 (8-12 anos); Atividades: ler, colorir ou jogar jogos de tabuleiro, caminhar (2, 4 e 6 km/h), correr (8 km/h). Critério: calorimetria indireta. Método: curvas ROC	SED< 7 c.s	S=100%; E=100%	S=94%; E=98%
	LEV=7-30,9 c.s	----	----
	MOD=31-68,4 c.s	S=87%; E=100%	S=84%; E=72%
	VIG≥68,5 c.s	S=88%; E=97%	S=79%; E=84%

Rowlands et al.²⁹

Amostra: n=19 (9±1 anos); Atividades: jogar no computador, caminhar (4 e 6 km/h), correr (8 e 10 km/h), pular amarelinha, chutar bola. Critério: calorimetria indireta. Método: modelo regressão	MOD=970-2332 c.min	----	----
	VIG≥2333 c.min	----	----

Actical

Evenson et al.²³

continua

continuação da Tabela 3

Amostra: n=33 (5-8 anos); Atividades: sentado, ver DVD, colorir, caminhar (3,2 e 4,8 km/h), subir degraus (88 bpm), dribles de basquetebol, polichinelos, pedalar, correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta; Método: curvas ROC	SED=0-11 c.15s	S=97%; E=98%	----
	LEV=12-507 c.15s	----	----
	MOD=508-718 c.15s	S=78%; E=79%	----
	VIG≥719 c.15s	S=77%; E=79%	----
Pfeiffer et al. ³⁰			
Amostra: n=18 (3-5 anos); Atividades: caminhar (3,2 e 4,8 km/h) e correr (6,4 km/h). Critério: calorimetria indireta; Método: modelo regressão.	MOD=715-1410 c.15s	S=97%; E=92%	κ=0,46
	VIG≥1411 c.15s	S=98%; E=61%	κ=0,71
Puyau et al. ³¹			
Amostra: n=32 (7-18 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, usar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar (3,2 e 6,4 km/h), correr (7,2 a 11,2 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	SED=0-100 c.min	S=86%; E=72%	----
	LEV=100-1499 c.min	----	----
	MOD=1500-6499 c.min	S=92%; E=73%	----
	VIG≥6500 c.min	S=95%; E=70%	----
Actiwatch			
Puyau et al. ³¹			
Amostra: n=32 (7-18 anos); Atividades: repouso, jogar videogame, usar o computador, espanar pó, exercícios aeróbios, lançar bolas, caminhar (3,2 e 6,4 km/h), correr (7,2 a 11,2 km/h). Critério: calorimetria de sala; Método: modelo regressão.	SED=0-49 c.min	S=86%; E=71%	----
	LEV=50-699 c.min	----	----
	MOD=700-2499 c.min	S=92%; E=68%	----
	VIG≥2500 c.min	S=97%; E=66%	----
Puyau et al. ²⁵			
Amostra: n=26 (6-16 anos); Atividades: jogar videogame, colorir, brincar com objetos,	SED=0-99 c.min	----	----
	LEV=100-899 c.min	----	----

continua

continuação da Tabela 3

exercícios de aquecimento, caminhar (4 e 5,6 ou 6,4 km/h), artes marciais, jogos diversos, correr (6,4 ou 8 ou 9,6 km/h). Critério: calorimetria de sala. Método: modelo de regressão	MOD=900-2199 c.min VIG \geq 2200 c.min	----- -----	---- -----
Actiheart			
De Bock et al. ¹⁴			
Amostra: n=33 (3-6 anos); Atividades realizadas na pré-escola. Critério: observação direta.	SED=0-45 c.15s ♂ SED=0-25 c.15s ♀		S=78%; E=52% S=75%; E=61%
Método: curvas ROC	MOD=FC>134 bpm e >118 c.15s ♂ MOD=FC>138 bpm e >105 c.15s ♀		S=27%; E=91% S=38%; E=93%
Biotrainer			
Welk et al. ¹⁶			
Amostra: n=30 (8-12 anos); Atividades: sentado, dribles com bola (parado, caminhando/correndo), caminhar, correr. Critério: observação direta. Métodos: curvas ROC e modelo de regressão	MOD \geq 4000 c.min	-----	S=61%; E=93%
Activtracer			
Tanaka et al. ³²			
Amostra: n=27 (5-6 anos); Atividades: repouso, assistir vídeo, colorir, brincar com blocos, caminhar, subir degraus e correr em ritmo próprio, lançar bolas. Critério: calorimetria indireta. Método: modelos de regressão	MOD=395-1037 VIG \geq 1038		S=77%; E=94% ----- -----

* indicadores de generalidade derivados do estudo de validação de Trost et al. (2011); S=sensibilidade; E=especificidade; κ = *Kappa*; c.seg=*counts* por segundo; c.15s=*counts* por 15 segundos; c.30s=*counts* por 30 segundos; c.min=*counts* por minuto; ^alimiar para 3 anos de idade; ^blimiar para 4 anos de idade; ^climiar para 5 anos de idade; FC=frequência cardíaca; bpm=batimentos por minuto.

Limiars para *counts* do RT3 foram derivados apenas em amostras de crianças e adolescentes. Limiars foram de 40 e 420 *counts.min⁻¹* para SED e variaram entre 950 e 1860 *counts.min⁻¹* para MOD e 2330 e 4110 *counts.min⁻¹* para VIG. Parâmetros de validação foram apresentados apenas em um estudo²¹ e indicaram boa validade dos limiars nas diferentes intensidades da atividade física. Para o Actical, boa a moderada validade foi identificada para os limiars relacionados às SED (sensibilidade = 86-97%, especificidade = 72-98%), MOD (sensibilidade = 78-97%, especificidade = 73-92%) e VIG (sensibilidade = 77-98%, especificidade = 61-79%). Para crianças e adolescentes, limiars foram de 44 e 100 *counts.min⁻¹*, 1500 e 2030 *counts.min⁻¹* e 2880 e 6500 *counts.min⁻¹* para SED, MOD e VIG, respectivamente. Para pré-escolares, foi identificado apenas um limiar para MOD (715 *counts.15s⁻¹*) e um para VIG (1411 *counts.15s⁻¹*).

Generalidade dos limiars

Quatro estudos de calibração do ActiGraph testaram a generalidade dos limiars desenvolvidos em amostras e/ou protocolos de atividades independentes^{17,18,22,26}. Em amostras independentes, boa generalidade foi observada para os limiars de Vanhelst et al.²² ($\kappa=0,72-0,85$) e Reilly et al.¹⁸ (sensibilidade = 83%, especificidade = 82%). Em atividades independentes, boa a moderada generalidade foi constatada para os limiars relacionados às MOD e VIG de Pate et al.²⁶ (sensibilidade = 97 e 66%, especificidade = 86 e 95%, respectivamente). Em amostras e atividades independentes, pobre a moderada generalidade foi observada para os limiars de Sirard et al.¹⁷ ($r=0,46-0,71$). Um estudo independente testou a generalidade de limiars do ActiGraph¹⁹ e verificou que limiars de Evenson et al.²³ desempenharam melhor nas diferentes intensidades da atividade física ($\kappa=0,68$) quando comparados aos demais limiars ($\kappa=0,62-0,36$)^{20,24,25}. Em geral, limiars de Evenson et al.²³ apresentaram boa a moderada generalidade para identificação das atividades SED, MOD e VIG (Tabela 3).

Dois estudos de calibração do RT3 testaram a generalidade dos limiars desenvolvidos em amostras independentes^{21,27}. Vanhelst et al.²⁷ relataram boa generalidade dos limiars em todas as intensidades da atividade física ($\kappa=0,75-0,91$), enquanto que Chu et al.²¹ observaram boa generalidade do limiar relacionado às SED (sensibilidade = 94%, especificidade = 98%) e moderada generalidade dos limiars relacionados às MOD e VIG (sensibilidade = 84 e 79%, especificidade =

72 e 84%, respectivamente). Para o Actical, apenas Pfeiffer et al.³⁰ testaram a generalidade de seus limiares em atividades independentes e constataram moderada generalidade do limiar relacionado às MOD ($\kappa=0,46$) e boa generalidade do limiar direcionado às VIG ($\kappa=0,71$). Em geral, a generalidade dos limiares foi maior quando estes foram testados em amostras independentes ($\kappa=0,72-0,91$; sensibilidade = 79-94%; especificidade = 72-98%)^{18,21,22,27} do que em atividades independentes ($\kappa = 0,46-0,71$; sensibilidade = 27-97%; especificidade = 52-95%)^{14,16,26,30} (Tabela 3).

Discussão

Este estudo revisou a validade e a generalidade dos limiares para *counts* de acelerômetros destinados à classificação da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. O ActiGraph, o Actical e o RT3 foram os modelos mais calibrados e limiares destes acelerômetros foram discrepantes em cada intensidade da atividade física. Em geral, limiares apresentaram boa a moderada validade para a discriminação das SED, MOD e VIG. No entanto, foi constatada limitada informação sobre a generalidade destes limiares em amostras e atividades independentes.

Diferenças nos critérios utilizados para definição da intensidade da atividade física, tamanho e características da amostra, protocolo estudado e procedimento estatístico podem contribuir para as discordâncias entre os limiares de um mesmo modelo de acelerômetro. É importante destacar que não há um claro entendimento quanto aos procedimentos mais adequados para derivação de limiares de acelerômetros, o que justifica a falta de padronização quanto aos procedimentos metodológicos aplicados em estudos de calibração. Para ilustrar, diferentes critérios têm sido utilizados para a categorização da intensidade da atividade física e há um debate na literatura quanto ao uso de 3 ou 4 METs para a definição das MOD em crianças e adolescentes^{33,34}.

Outro importante aspecto metodológico diz respeito ao método utilizado para a derivação dos limiares. Tradicionalmente, modelos de regressão ou curvas ROC são utilizados. As vantagens e desvantagens destes procedimentos têm sido previamente discutidas^{35,36}. Basicamente, embora os modelos de regressão permitam derivar limiares ajustados às características dos sujeitos, o elevado erro padrão de estimativa se constitui como a principal limitação deste procedimento¹⁰. O uso de

curvas ROC, por sua vez, possibilita testar empiricamente todos os possíveis limiares no gráfico correspondente à curva ROC, permitindo ao pesquisador escolher um apropriado limiar baseado em um equilíbrio entre a sensibilidade e especificidade.

Independente do modelo de acelerômetro, limiares apresentaram boa a moderada validade para a determinação da intensidade da atividade física quando comparados às medidas critérios adotadas nos estudos de calibração. No entanto, destaca-se que limiares para MOD e VIG derivados de protocolos de atividades físicas ambulatoriais (caminhada e corrida) apresentaram, em sua maioria, melhores indicadores de validade^{15,17,21,30} em relação àqueles derivados a partir da combinação de atividades ambulatoriais e não-ambulatoriais^{23,31,32}. De fato, determinadas atividades não-ambulatoriais (dribles de basquete, subir degraus, polichinelos, passos aeróbicos, artes marciais, lançar bolas) tendem a apresentar menores valores de *counts* em relação às ambulatoriais com menor gasto energético.

Nesse sentido, a maioria dos acelerômetros identificados nesta revisão são mais sensíveis às atividades com grande componente de aceleração no plano vertical, tais como caminhadas e corridas. Além disso, acelerômetros tendem a apresentar registros menos precisos dos movimentos relacionados aos segmentos corporais aos quais não estão posicionados³⁷. Em conjunto, estes fatores podem explicar a maior validade observada entre os limiares derivados a partir de atividades ambulatoriais. No entanto, considerando que as atividades diárias de crianças e adolescentes não se resumem às atividades ambulatoriais, a inclusão de atividades representativas do cotidiano desta população é recomendada para estudos de calibração³⁶.

Limitada informação foi observada quanto à generalidade dos limiares identificados nesta revisão. De um modo geral, indicadores de generalidade dos limiares foram maiores quando os mesmos foram testados em amostras independentes do que em atividades independentes. De forma semelhante, Corder et al.³⁸ constataram que a acurácia dos modelos de predição do gasto energético a partir de *counts* da acelerometria foram mais dependentes das atividades testadas do que das características dos participantes.

Idealmente, a generalidade dos limiares deve ser testada em amostras e atividades independentes. Sirard et al.¹⁷ monitoraram 269 pré-escolares em dias distintos em ambiente escolar e observaram pobre a moderadas correlações ($r=0,46-0,70$) entre a soma de períodos de 15 segundos categorizados nas diferentes intensidades da atividade física pela técnica de observação direta e pelos limiares derivados previamente

na fase de calibração. Trost et al.¹⁹ testaram a generalidade de diferentes conjuntos de limiares derivados do acelerômetro ActiGraph em 206 jovens (5-15 anos) a partir de um protocolo contendo 12 atividades de intensidades sedentárias a vigorosas e observaram que os limiares Evenson et al.²³ desempenharam melhor nas diferentes intensidades da atividade física quando comparados aos limiares de Treuth et al.²⁴, Mattocks et al.²⁰ e Puyau et al.²⁵.

O ActiGraph é o acelerômetro mais utilizado em estudos com crianças e adolescentes¹¹ e teve o maior número de limiares publicados. Entretanto, limiares existentes para o ActiGraph foram desenvolvidos mediante a utilização dos modelos uniaxiais 7164 e GT1M. Embora o eixo ântero-posterior do GT1M tenha sido desbloqueado na segunda geração deste modelo, limiares elaborados a partir do GT1M utilizaram informações obtidas apenas junto ao eixo vertical. A versão comercialmente disponível do ActiGraph é o modelo GT3X. Este modelo possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior) podendo combinar esta informação em um vetor magnitude. Assim, embora as informações de aceleração registradas pelo eixo vertical do GT1M e do GT3X sejam comparáveis³⁹, para explorar a medida triaxial do GT3X, limiares para o vetor magnitude deste modelo são necessários.

Em conclusão, o presente estudo verificou que limiares de acelerômetros apresentam boa a moderada validade para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes. No entanto, há limitada informação quanto à generalidade destes limiares em amostras e atividades independentes. Até o presente momento, há um indicativo para o uso dos limiares de Sirard et al.¹⁷ em pré-escolares (pobre a moderada generalidade) e de Evenson et al.²³ em crianças e adolescentes (boa a moderada generalidade). Futuros estudos de validação devem ser conduzidos para identificar quais os limiares mais apropriados para cada modelo de acelerômetro. Limiares para *counts* do vetor magnitude do GT3X são necessários para explorar a medida triaxial da nova versão do acelerômetro ActiGraph.

4 REFERÊNCIAS

1. Rowlands AV. Accelerometer assessment of physical activity in children: an update. *Pediatr Exerc Sci.* 2007;19(3):252-66.

2. Chen KY, Bassett DR Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(Suppl 11):S490-500.
3. Matthew CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(Suppl 11):S512-22.
4. Oliver M, Schofield GM, Kolt GS. Physical activity in preschoolers: understanding prevalence and measurement issues. *Sports Med.* 2007;37(12):1045-70.
5. Reilly JJ, Penpraze V, Hislop J, Davies G, Grant S, Paton JY. Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: Review with new data. *Arch Dis Child.* 2008;93(7):614-619.
6. Freedson P, Pober D, Janz KF. Calibration of accelerometer output for children. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(Suppl 11):S523-30.
7. Cliff DP, Okely AD. Comparison of two sets of accelerometer cut-off points for calculating moderate-to-vigorous physical activity in young children. *J Phys Act Health.* 2007;4(4):509-13.
8. Guinhouya CB, Hubert H, Soubrier S, Vilhelm C, Lemdani M, Durocher A. Moderate-to-vigorous physical activity among children: discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity (Silver Spring).* 2006;14(5):774-7.
9. Mota J, Valente M, Aires L, Silva P, Santos MP, Ribeiro JC. Accelerometer cut-points and youth physical activity prevalence. *Eur Phy Educ Rev.* 2007;13(3):287-299.
10. de Graauw SM, de Groot JF, van Brussel M, Streur MF, Takken T. Review of prediction models to estimate activity-related energy expenditure in children and adolescents. *Int J Pediatr.* 2010;489304.
11. De Vries SI, Van Hirtum HW, Bakker I, Hopman-Rock M, Hirasing RA, Van Mechelen W. Validity and reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(4):818-27.
12. Szklo M, Javier Nieto F. *Epidemiology: beyond the basics.* Sudbury: Jones and Bartlett Publishers; 2007.

13. Innes E, Straker L. Validity of work-related assessments. *Work*. 1999;13(2):125-52.
14. De Bock F, Menze J, Becker S, Litaker D, Fischer J, Seidel I. Combining accelerometry and HR for assessing preschoolers' physical activity. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(12):2237-43.
15. van Cauwenberghe E, Labarque V, Trost SG, de Bourdeaudhuij I, Cardon G. Calibration and comparison of accelerometer cut points in preschool children. *Int J Pediatr Obes*. 2011;6(2-2):e582-9.
16. Welk GJ, Eisenmann JC, Schaben J, Trost SG, Dale D. Calibration of the Biotrainer Pro Activity Monitor in Children. *Pediatr Exerc Sci*. 2007;19(2):145-58.
17. Sirard JR, Trost SG, Pfeiffer KA, Dowda M, Pate RR. Calibration and Evaluation of an Objective Measure of Physical Activity in Preschool Children. *J Phys Act Health*. 2005;2:345-57.
18. Reilly JJ, Coyle J, Kelly L, Burke G, Grant S, Paton JY. An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds. *Obes Res*. 2003;11(10):1155-8.
19. Trost SG, Loprinzi PD, Moore R, Pfeiffer KA. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1360-8.
20. Mattocks C, Leary S, Ness A, Deere K, Saunders J, Tilling K, et al. Calibration of an accelerometer during free-living activities in children. *Int J Pediatr Obes*. 2007;2(4):218-26.
21. Chu EYW, McManus AM, Yu CCW. Calibration of the RT3 Accelerometer for Ambulation and Nonambulation in Children. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39(11):2085-91.
22. Vanhelst J, Beghin L, Turck D, Gottrand F. New validated thresholds for various intensities of physical activity in adolescents using the Actigraph accelerometer. *Int J Rehabil Res*. 2011;34(2):175-7.

23. Evenson KR, Catellier DJ, Gill K, Ondrak KS, McMurray RG. Calibration of two objective measures of physical activity for children. *J Sports Sci.* 2008;26(14):1557-65.
24. Treuth MS, Schmitz K, Catellier DJ, McMurray RG, Murray DM, Almeida MJ, et al. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(7):1259-66.
25. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res.* 2002;10(3):150-7.
26. Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M. Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity (Silver Spring).* 2006;14(11):2000-6.
27. Vanhelst J, Béghin L, Rasoamanana P, Theunynck D, Meskini T, Iliescu C, et al. Calibration of the RT3 accelerometer for various patterns of physical activity in children and adolescents. *J Sports Sci.* 2010;28(4):381-7.
28. Kavouras SA, Sarras SE, Tsekouras YE, Sidossis LS. Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *J Sports Sci.* 2008;26(9):959-66.
29. Rowlands AV, Thomas PWM, Eston RG, Topping R. Validation of the RT3 Triaxial Accelerometer for the Assessment of Physical Activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(3):518-24.
30. Pfeiffer KA, McIver KL, Dowda M, Almeida MJCA, Pate RR. Validation and Calibration of the Actical Accelerometer in Preschool Children. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(1):152-7.
31. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Zakeri I, Butte NF. Prediction of Activity Energy Expenditure Using Accelerometers in Children. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(9):1625-31.
32. Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial Accelerometry for Assessment of Physical Activity in Young Children. *Obesity (Silver Spring).* 2007;15(5):1233-41.

33. Harrell JS, McMurray RG, Baggett CD, Pennell ML, Pearce PF, Bangdiwala SI. Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):329-36.
34. Ridley K, Olds TS. Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(8):1439-46.
35. Jago R, Zakeri I, Baranowski T, Watson K. Decision boundaries and receiver operating characteristic curves: new methods for determining accelerometer cutpoints. *J Sports Sci.* 2007;25(8):937-44.
36. Welk GJ. Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(Suppl 11):S501-11.
37. Cliff DP, Reilly JJ, Okely AD. Methodological considerations in using accelerometers to assess habitual physical activity in children aged 0-5 years. *J Sci Med Sport.* 2009;12(5):557-67.
38. Corder K, Brage S, Mattocks C, Ness A, Riddoch C, Wareham NJ, et al. Comparison of two methods to assess PAEE during six activities in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(12):2180-8.
39. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport.* 2011;14(5):411-6.

CAPÍTULO 4

4. VALIDAÇÃO DE LIMIARES DO ACELERÔMETRO ACTIGRAPH PARA A ESTIMATIVA DA INTENSIDADE DA ATIVIDADE FÍSICA EM ADOLESCENTES³

RESUMO

Verificar a validade de limiares do acelerômetro ActiGraph para a estimativa da intensidade da atividade física em adolescentes. Setenta e nove adolescentes foram monitorados por acelerometria e calorimetria indireta durante um protocolo padronizado de atividades físicas. Escores de METs e limiares para *counts* do ActiGraph derivados por Vanhelst (VN), Evenson (EV), Mattocks (MT), Treuth (TR) e Puyau (PU) foram utilizados para determinar atividades sedentárias (SED), leves (LEV), moderadas (MOD), vigorosas (VIG) e moderadas a vigorosas (MOD-VIG). A validade dos limiares foi testada por Receiver Operating Characteristic Curves (ROC) e coeficientes ponderados de Kappa. Limiares de EV e VN apresentaram melhor concordância ($\kappa = 0,84$ e $0,82$) que limiares de MT e PU ($\kappa = 0,78$ e $0,70$). Em geral, acurácia de classificação das SED e MOD-VIG foi excelente (ROC > $0,90$). Limiares de EV, TR e MT exibiram melhor predição das SED que limiares de VN e PU ($P < 0,0001$). Para MOD-VIG, limiar de MT apresentou menor acurácia que os demais limiares ($P < 0,01$). A predição das VIG pelos limiares de EV e VN foi boa (ROC = $0,88$ e $0,89$) e significativamente melhor que TR, MT e PU (ROC = $0,57$ a $0,78$). Limiares de EV estiveram associados às melhores estimativas das SED, MOD-VIG e VIG. Recomenda-se o uso dos limiares de EV para a estimativa de intensidade da atividade física em adolescentes por meio do ActiGraph.

Palavras-chave: validade, sensores de movimentos, acelerometria, jovens

³ Artigo submetido ao *Journal of Sports Sciences*.

Coautores: Edio Luiz Petroski – UFSC, David Ohara – UEL, Antonio Carlos Dourado – UEL, Felipe Fossati Reichert - UFPel

INTRODUÇÃO

A obtenção de medidas válidas do comportamento sedentário (SED) e das atividades físicas de intensidade moderada (MOD) e vigorosa (VIG) em crianças e adolescentes é de grande importância, visto que a relação entre estes comportamentos e indicadores de saúde parece dependente da intensidade da atividade (Parikh & Stratton, 2011; Tremblay, Colley, Saunders, Healy, & Owen, 2010). Tradicionalmente, essas variáveis são obtidas por questionários, os quais não apresentam indicadores de validade aceitáveis em jovens (Chinapaw, Mokkink, van Poppel, van Mechelen, & Terwee, 2010; Farias Junior, Lopes, Florindo, & Hallal, 2010) e não são capazes de distinguir precisamente o SED das atividades de intensidade leve (LEV) (Pate, O'Neill, & Lobelo, 2008).

Nos últimos anos, o uso de acelerômetros em estudos com crianças e adolescentes tem aumentado (Rowlands, 2007). Acelerômetros quantificam de forma objetiva a frequência, duração e intensidade da atividade física, possibilitando verificar o impacto da intensidade da atividade física sobre a saúde. No entanto, considerando que a medida dos acelerômetros (*counts*) não apresenta significado biológico ou comportamental (Freedson, Pober, & Janz, 2005), um aspecto crucial tem sido o de transformar *counts* em estimativas da intensidade da atividade física a partir do uso de limiares específicos a cada modelo de acelerômetro, processo denominado de calibração.

Dentre os diferentes modelos de acelerômetros disponíveis comercialmente, o ActiGraph é amplamente utilizado (De Vries et al., 2009) e tem sido calibrado em pré-escolares (Pate, Almeida, McIver, Pfeiffer, & Dowda, 2006; Reilly et al., 2003; Sirard, Trost, Pfeiffer, Dowda, & Pate, 2005; van Cauwenberghe, Labarque, Trost, de Bourdeaudhuij, & Cardon, 2011), crianças e adolescentes (Evenson, Catellier, Gill, Ondrak, & McMurray, 2008; Mattocks et al., 2007; Puyau, Adolph, Vohra, & Butte, 2002; Treuth et al., 2004; Vanhelst, Beghin, Turck, & Gottrand, 2011). Especificamente para crianças e adolescentes (6 a 18 anos), limiares para *counts* do ActiGraph têm oscilado entre 100 e 800 *counts.min*⁻¹ para SED, 1900 a 3600 *counts.min*⁻¹ para MOD e 3900 a 8200 *counts.min*⁻¹ para VIG. Em virtude da ampla variação destes limiares para uma mesma intensidade de atividade física, estudos comparativos têm demonstrado que o tempo gasto por crianças e adolescentes em SED, MOD-VIG e VIG pode diferir drasticamente conforme o conjunto de limiares utilizado (Cliff & Okely, 2007; Guinhouya et al., 2006; McClain, Abraham, Brusseau, & Tudor-Locke, 2008; Reilly et al., 2008). Isto tem dificultado um melhor

entendimento da associação entre a intensidade da atividade física e saúde (Parikh & Stratton, 2011) e limitado a comparabilidade das taxas de prevalência de (in) atividade física.

Nesse sentido, estudos de validação podem subsidiar a escolha de limiares mais apropriados para a determinação das diferentes intensidades da atividade física, bem como contribuir para uma uniformização do uso destes limiares por parte de pesquisadores que utilizam a acelerometria como método de medida da atividade física. No entanto, a validade destes limiares tem sido pouco testada (Trost, Loprinzi, Moore, & Pfeiffer, 2011). Sendo assim, o objetivo do presente foi de verificar a validade de cinco conjuntos de limiares destinados à identificação de diferentes intensidades da atividade física em adolescentes utilizando a calorimetria indireta como método de referência.

MÉTODOS

Amostra

Participaram do estudo 79 adolescentes de ambos os sexos e com idade entre 10 e 15 anos, selecionados de uma escola pública de Londrina – região sul do Brasil. O protocolo do estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (protocolo 445/2010) e os pais assinaram o termo de consentimento para a participação do filho no estudo. Adolescentes investigados apresentaram ampla variação nas medidas antropométricas e cerca de 23% possuíam excesso de peso (Tabela 1).

Tabela 1. Características gerais da amostra

Variável	Categoria	Média (DP) ou %	Variação
Idade (anos)		12,5 (1,3)	10,1 – 15,0
Massa (kg)		48,3 (10,6)	26,4 – 73,3
Estatura (cm)		156,2 (8,7)	135,0–176,5
IMC (kg/m ²)		19,6 (3,2)	13,6 – 28,1
Percentual por idade	10,0–12,5 anos	48,1	
	12,5–15,0 anos	51,9	

continua

continuação da Tabela 1

Sexo	Masculino	50,5
	Feminino	49,5
Estado nutricional	Eutróficos	77,3
	Excesso de peso	22,7

Protocolo do estudo

O estudo foi realizado no Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina. Adolescentes foram orientados a jejuar por no mínimo duas horas antes do início das avaliações para minimizar o impacto do efeito térmico dos alimentos sobre as medidas de consumo de oxigênio (VO₂). Este procedimento é similar àqueles adotados em outros estudos (Pate et al., 2006; Pfeiffer, McIver, Dowda, Almeida, & Pate, 2006). Participantes foram monitorados por calorimetria indireta e acelerometria em repouso e durante um protocolo contendo 12 atividades físicas. A descrição e a ordem das atividades realizadas são descritas na Tabela 2. As intensidades das atividades variaram de sedentárias a vigorosas e foram selecionadas de forma a representar as atividades do cotidiano de adolescentes com faixa etária semelhante a do estudo. O período de repouso teve duração de 20 minutos e cada uma das demais atividades foram realizadas durante cinco minutos. Entre cada atividade foi concedido um período de recuperação de cinco minutos. Os equipamentos (calorimetria indireta e acelerômetro) foram sincronizados e inicializados no minuto inicial do período de repouso. Para facilitar o processamento dos dados coletados, cada atividade foi iniciada em um novo minuto.

Tabela 2. Descrição das atividades a serem realizadas no protocolo de calibração

Atividade	Descrição	Intensidade
1. Repouso	Deitar em posição supinada, braços ao lado do corpo, com instruções de minimizar os movimentos corporais	Sedentária
2. Assistir DVD	Sentar em uma cadeira e assistir filmes infantis	Sedentária
3. Escrever	Sentar em uma cadeira e redigir um texto padronizado com os braços apoiados em uma mesa	Sedentária

continua

continuação da Tabela 2

4. Videogame	Sentar em uma poltrona e utilizar controles de mão para jogar videogame (Playstation 3)	Sedentária
5. Em pé	Permanecer em pé, sendo permitida a movimentação leve dos membros	Sedentária
6. Caminhar 2 km/h	Caminhar a uma velocidade de 2 km/h	Leve
7. Caminhar 4 km/h	Caminhar a uma velocidade de 4 km/h	Moderada
8. Voleibol	Jogar voleibol em dupla em uma quadra com tamanho reduzido	Moderada
9. Correr 7,2 km/h	Correr a uma velocidade de 7,2 km/h	Vigorosa
10. Futebol	Conduzir uma bola de futsal e realizar arremate ao gol.	Vigorosa
11. Basquetebol	Realizar dribles entre obstáculos e arremessar a bola à cesta	Vigorosa
12. Pular corda	Pular corda de forma ritmada	Vigorosa

As atividades sedentárias foram realizadas em um laboratório climatizado enquanto que as demais atividades físicas foram realizadas em um ginásio de esportes coberto. Para a mensuração do VO_2 em repouso, os adolescentes permaneceram deitados em uma maca em um ambiente tranqüilo e parcialmente iluminado. Durante as atividades de caminhadas e corrida, um avaliador ditou o ritmo dos adolescentes utilizando um sensor de velocidade (Polar S1 Foot Pod, Polar RS 300XTM).

Medidas**Acelerometria**

O ActiGraph (ActiGraph LLC, Pensacola, Fla, USA), modelo GT3X, registra acelerações de 0,05 a 2,5 G's. O sinal é digitalizado e passa por um filtro que limita a frequência a uma variação de 0,25 a 2,5 Hz. Estas informações são somadas e armazenadas em epochs que variam de 1 a 360 segundos. O GT3X possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior) e combina estas informações em um vetor magnitude. Considerando que os limiares a serem validados no presente estudo

foram desenvolvidos por meio das versões uniaxiais do ActiGraph, somente dados de *counts* registrados pelo eixo vertical do GT3X foram utilizados. Sasaki, John and Freedson (2011) não identificaram diferenças nos valores de *counts* registrados pelo eixo vertical do GT1M e do GT3X. Cinco unidades do ActiGraph GT3X foram utilizadas no estudo. O GT3X foi fixado na cintura e posicionado na linha axilar anterior no nível da crista-ílfaca. *Counts* foram registrados em epochs de 15 segundos.

Calorimetria indireta

Medidas de VO_2 respiração por respiração e de frequência cardíaca (FC) foram obtidas pelo sistema metabólico portátil da marca Cosmed (Model K4b2, Rome, Italy). O K4b2 é um equipamento leve (925 gramas) composto por uma máscara conectada a um sistema analisador miniaturizado, uma bateria e um transmissor de frequência cardíaca POLAR Pacer. Cerca de uma hora antes de cada sessão de mensuração, a unidade foi calibrada com gases padrão conforme as instruções do fabricante. Máscaras de tamanho (P, M ou G) apropriado a face dos avaliados foram utilizadas para evitar o vazamento do ar pela máscara. Este equipamento foi validado previamente em adolescentes (Harrell et al., 2005).

Redução dos dados

As informações registradas pela calorimetria indireta e pelos acelerômetros foram transferidas para uma planilha do programa Microsoft Office Excel 2007. Para fins de análise, os minutos 16-20 do período de repouso e os minutos 4-5 de cada atividade física foram considerados. *Counts* do eixo vertical GT3X foram adicionalmente redefinidos para epochs de 30 e 60 segundos (dependendo do conjunto de limiares). Dados de VO_2 registrados pela calorimetria e de *counts* registrados pelos acelerômetros foram computados como valores médios para cada atividade. O estado estável do VO_2 nos minutos 16-20 do repouso e 4-5 de cada atividade foram confirmados por inspeção visual. Escores de METs foram computados individualmente por meio da divisão do VO_2 ($ml.kg.min^{-1}$) mensurado em cada atividade pelos valores de VO_2 registrados em repouso.

Classificação da intensidade da atividade física

Limiares para *counts* do ActiGraph derivados dos estudos de Evenson et al. (2008) (EV), Mattocks, et al. (2007) (MT), Puyau et al. (2002) (PU), Treuth et al. (2004) (TR) e Vanhelst et al. (2011) (VN) foram utilizados para classificar as atividades físicas em quatro intensidades: SED, LEV, MOD ou VIG (Tabela 3). Limiares de EV desenvolvidos para crianças (5 a 8 anos) foram incluídos, pois estes foram validados em adolescentes (Troost et al., 2011). Limiar de 200 *counts.min*⁻¹ foi adotado para determinar atividades sedentárias para MT, uma vez que o estudo de calibração destes autores derivou limiares relacionados apenas às atividades de intensidade moderada e vigorosa. Este procedimento é adotado por estes pesquisadores em outro estudo (Mattocks, et al., 2008). Escores de METs foram classificados como SED (<1,5 METs), LEV ($\geq 1,5$ e <3 METs), MOD (≥ 3 e <6 METs), MOD-VIG (≥ 3 METs) ou VIG (≥ 6 METs) e foram adotados como critérios para a validação dos limiares.

Análise estatística

Receiver Operator Curves (ROC) foram utilizadas para determinar a acurácia dos limiares para a classificação da intensidade da atividade física. Sensibilidade, especificidade e áreas sob a curva ROC foram calculados. A interpretação das áreas sob a curva ROC (ROC-AUC) para cada conjunto de limiar foi realizada com base na classificação proposta por Metz (1978), onde: a) $\geq 0,90$ = excelente acurácia; b) 0,80-0,89 = boa acurácia; c) 0,70-0,79 = razoável acurácia; d) <0,70 = pobre acurácia. O teste de DeLong, DeLong, and Clarke-Pearson (1988) foi utilizado para comparar se as áreas sob a curva ROC diferiram entre os limiares dentro de cada intensidade da atividade física. Coeficientes de Kappa ponderado foram calculados para determinar a concordância de classificação de cada conjunto de limiares para as quatro intensidades da atividade física. Coeficientes de Kappa $\geq 0,80$ são considerados muito bons, 0,61-0,80 bons, 0,41-0,60 moderados, 0,21-0,40 razoáveis e <0,20 pobre (Altman, 1991). Todas as análises foram conduzidas no pacote estatístico MedCalc 11.6.1.0.

Tabela 3. Pontos de corte para acelerômetros relacionados à intensidade da atividade física (n = 19).

Estudo	Amostra	Protocolo de calibração	Limiares (counts.min ⁻¹)			
			SED	LEV	MOD	VIG
Evenson et al. (2008)	5-8 anos n=33 ♂12, ♀21	Sentado, assistir DVD, colorir livros, caminhar, correr, subir degraus, basquetebol, polichinelos	0-100	101-2295	2296-4011	≥4012
Mattocks et al. (2007)	12 anos n=163 ♂73, ♀90	Repouso, jogar videogame, caminhar (lento e rápida), correr, pular amarelinha	0-199	200-3580	3581-6129	≥6130
Puyau et al. (2002)	6-16 anos n=26 ♂14, ♀12	Jogar videogame, colorir, brincar com objetos, exercícios de aquecimento, caminhar, artes marciais, basquete, bambolê, saltos, correr	<800	800-3199	3200-8199	≥8200
Treuth et al. (2004)	13-14anos n=74 ♀74	Repouso, assistir TV, jogar no computador, varrer, caminhar, correr, passos aeróbicos, arremessos de basquetebol, subir degraus	0-100	101-2999	3000-5199	>5200
Vanhelst et al. (2011)	10-16 anos n=40 ♂20, ♀20	Repouso, ler livro, jogar videogame, jogos de salão, chutar bola, caminhar, correr	0-400	401-1900	1901-3918	>3918

♂ = masculino; ♀ = feminino; Limiares são apresentados como *counts* por minuto para fins de comparação

RESULTADOS

Dos 79 adolescentes selecionados, dois foram excluídos das análises devido a falhas na inicialização do acelerômetro. De um total de 948 casos possíveis para cada variável (79 sujeitos x 12 atividades), dados completos de VO_2 e *counts* foram obtidas em 898 casos (94,7%). A intensidade das atividades variou entre 1,1 e 7,4 escores de METs, enquanto que a mediana para *counts* do eixo vertical do ActiGraph variou entre 0 e 7866 *counts.min⁻¹* (Tabela 4). Exceto para atividades esportivas (voleibol, basquetebol e futebol), *counts* do ActiGraph aumentaram de forma similar aos incrementos observados nos escores de METs para cada atividade. Para o voleibol, houve um decréscimo de 50% na mediana de *counts* em relação à caminhada a 4 km/h, apesar de um incremento de cerca de 40% no VO_2 entre estas atividades. Assim, para fins de análise, optou-se por excluir esta atividade das análises.

Table 4. Estatísticas descritivas para VO_2 , METs e *counts* do ActiGraph para cada atividade

	VO_2 (<i>ml.kg.min⁻¹</i>)		METs		ActiGraph (<i>counts.min⁻¹</i>)	
	Média	DP	Média	DP	Mediana	IQR
Repouso	4,5	1,4	1	---	1,8	6,6
Assistir DVD	4,7	1,2	1,1	0,2	0,0	6,2
Escrever	5,2	1,8	1,2	0,2	0,0	0,0
Videogame	5,3	1,5	1,2	0,3	0,0	11,5
Em pé	5,8	1,5	1,3	0,3	0,7	6,9
Caminhar 2 km/h	9,4	1,9	2,2	0,4	525,0	370,2
Caminhar 4 km/h	12,7	2,3	3,0	0,7	2695,0	538,7
Voleibol	17,9	5,0	4,2	1,3	1350,0	256,3
Correr 7,2 km/h	27,8	6,0	6,5	1,7	6863,0	1703,0
Futebol	30,0	7,2	6,9	2,1	7866,0	3514,9
Basquetebol	30,2	7,7	7,0	1,9	5081,5	1584,7
Pular corda	31,8	8,4	7,4	2,1	4529,2	1483,4

IQR = intervalo interquartil

Indicadores de validade para cada conjunto de limiar são apresentados na Tabela 5. Áreas sob a curva ROC indicaram excelente acurácia (ROC-AUC $\geq 0,90$) para a identificação das SED para todos os limiares analisados. No entanto, limiares de 100 (EV e TR) e 200 *counts.min⁻¹* (MT) apresentaram melhor acurácia de classificação das SED quando comparado a limiares de 400 (VN) e 800 *counts.min⁻¹* (PU)

($P < 0,001$). Similarmente, o limiar de VN obteve melhor acurácia em relação ao limiar de PU ($P < 0,05$).

Para a discriminação das LEV, foi identificada boa acurácia para os limiares de TR e MT (ROC-AUC=0,84-0,85), razoável acurácia para os limiares de EV (ROC-AUC = 0,77) e pobre acurácia dos limiares de PU e VN (ROC-AUC = 0,65-0,67). Áreas sob a curva ROC indicaram melhor discriminação das LEV pelos limiares de TR e MT em relação aos demais limiares ($P < 0,0001$). Além disso, limiares de EV apresentaram melhor acurácia em relação aos limiares de PU e VN ($P < 0,01$). De um modo geral, os limiares apresentaram elevada especificidade e baixa a moderada sensibilidade.

Pobre à razoável acurácia foi identificada para discriminação das MOD (ROC-AUC = 0,62-0,70), com o limiar de PU apresentando melhor acurácia comparado aos limiares de TR e MT ($P < 0,01$). Quando as análises levaram em consideração as MOD-VIG, áreas sob a curva ROC indicaram excelente discriminação de todos os limiares testados (ROC-AUC = 0,91-0,95), com o elevado limiar de MT ($\geq 3600 \text{ counts.min}^{-1}$) exibindo menor acurácia em relação aos demais limiares ($P < 0,01$). Além disso, limiar de EV tendeu a apresentar melhor acurácia quando comparado ao limiar de PU ($P = 0,05$). Limiares de EV e VN foram mais sensíveis, enquanto que os limiares de TR, PU e MT foram mais específicos.

Para as VIG, limiares de EV e VN exibiram uma acurácia de classificação próximo a excelente (ROC-AUC = 0,88-0,89) e apresentaram melhor discriminação quando comparados os limiares de TR, MT e PU ($P < 0,0001$). A acurácia dos limiares de TR e MT foi razoável (ROC-AUC = 0,70-0,78), enquanto que o limiar de PU ($\geq 8200 \text{ counts.min}^{-1}$) apresentou pobre acurácia (ROC-AUC = 0,57). De uma maneira geral, os menores limiares de EV e VN apresentaram equilíbrio entre os indicadores de validade, enquanto que os maiores limiares de TR, MT e PU exibiram alta especificidade e baixa a moderada sensibilidade, contribuindo para uma elevada taxa de falsos negativos (35,1 a 83,3%).

Tabela 5. Sensibilidade, especificidade e área sob a curva ROC para a classificação de diferentes intensidades da atividade física

Atividade	Evenson et al.	Mattocks et al.	Puyau et al.	Treuth et al.	Vanhelst et al.
SED					
Sensibilidade (%)	97,2	98,3	99,7	97,2	98,9
Especificidade(%)	94,1	93,7	81,2	94,1	89,5
ROC-AUC (IC _{95%})	0,96 (0,94-0,97)	0,96 (0,94-0,97)	0,90 (0,88-0,92)	0,96 (0,94-0,97)	0,94 (0,92-0,96)
LEV					
Sensibilidade (%)	56,2	78,1	36,5	74,4	35,0
Especificidade(%)	97,3	91,2	94,4	93,5	98,7
ROC-AUC (IC _{95%})	0,77 (0,74-0,80)	0,85 (0,82-0,87)	0,65 (0,62-0,69)	0,84 (0,81-0,86)	0,67 (0,63-0,70)
MOD					
Sensibilidade (%)	34,3	38,9	63,4	36,6	34,4
Especificidade(%)	92,1	85,9	76,9	89,4	91,4
ROC-AUC (IC _{95%})	0,63 (0,60-0,67)	0,62 (0,59-0,66)	0,70 (0,67-0,73)	0,63 (0,60-0,66)	0,63 (0,59-0,66)
VIG					
Sensibilidade (%)	89,0	45,0	16,7	64,9	90,6
Especificidade(%)	87,7	94,4	98,1	91,9	87,1
ROC-AUC (IC _{95%})	0,88 (0,86-0,91)	0,70 (0,66-0,73)	0,57 (0,54-0,61)	0,78 (0,75-0,81)	0,89 (0,86-0,91)
MOD-VIG					
Sensibilidade (%)	97,2	83,2	87,6	89,4	98,4
Especificidade(%)	93,4	99,8	99,2	98,4	91,8
ROC-AUC (IC _{95%})	0,95 (0,94-0,97)	0,91 (0,89-0,93)	0,93 (0,91-0,95)	0,94 (0,92-0,95)	0,95 (0,93-0,97)

A tabela 6 apresenta a concordância de cada conjunto de limiar para classificação das intensidades da atividade física. Coeficientes Kappa foram muito bons para os limiares de EV, VN e TR ($\kappa = 0,81-0,84$) e bons para limiares de MT e PU ($\kappa = 0,70-0,78$). Limiares de EV e VN apresentaram melhor concordância para os quatro níveis de intensidade quando comparados aos limiares de MT e PU. Similarmente, limiares de TR e MT exibiram melhor concordância em relação aos limiares de PU.

Tabela 6. Coeficientes de concordância para a classificação das quatro intensidades da atividade física para cada conjunto de limiares

Limiares	Kappa (IC_{95%})
Evenson et al.	0,84 (0,82-0,86)
Mattocks et al.	0,77 (0,75-0,80)
Puyau et al.	0,70 (0,67-0,72)
Treuth et al.	0,81 (0,79-0,83)
Vanhelst et al.	0,82 (0,80-0,84)

DISCUSSÃO

O presente estudo testou a validade de cinco conjuntos de limiares do acelerômetro ActiGraph para a identificação de diferentes intensidades da atividade física em adolescentes. A acurácia de classificação do SED e das MOD-VIG foi excelente para os limiares analisados. No entanto, limiares de 100-200 (EV, TR, MT) e 2300 (EV) *counts.min⁻¹* demonstraram maior acurácia de classificação do SED e das MOD-VIG quando comparados a limiares de 400-800 (VN e PU) e 3200-3600 (PU e MT) *counts.min⁻¹*, respectivamente. A discriminação da VIG por meio dos limiares de EV e VN (~4000 *counts.min⁻¹*) foi boa e significativamente melhor do que aquelas observadas para os limiares de TR, MT e PU (5200, 6100 e 8200 *counts.min⁻¹*, respectivamente). Em termos gerais, limiares de EV, VN e TR apresentaram melhor desempenho nas quatro intensidades analisadas, com os limiares de EV e VN sendo estatisticamente melhores do que os limiares de MT e PU.

A falta de padronização quanto ao uso de limiares de acelerômetros para determinação do SED, MOD-VIG e VIG dificulta o entendimento da relação entre estes comportamentos e desfechos de saúde (Parikh & Stratton, 2011). De fato, a validade destes limiares tem sido pouco testada e a existência de estudos de validação pode adicionar evidências sobre quais limiares são mais apropriados para a

determinação do SED, MOD-VIG e VIG em crianças e adolescentes. Nesse sentido, os resultados do presente estudo são consistentes com aqueles relatados por Trost et al. (2011), o qual verificou em uma amostra de crianças e adolescentes (5-15 anos) que os limiares de EV apresentaram melhor acurácia de classificação de diferentes intensidades da atividade física quando comparados os limiares de TR, MT e PU. Em conjunto, estes estudos adicionam evidência para o uso dos limiares de EV e desencorajam a adoção dos limiares de MT e PU para a estimativa da intensidade da atividade física em adolescentes por meio do ActiGraph.

Limiares de *counts* do ActiGraph para determinação do SED em crianças e adolescentes variam entre 100 e 800 *counts.min*⁻¹. A determinação da validade destes limiares é crucial uma vez que o tempo gasto em atividades sedentárias pode variar amplamente dependendo do limiar adotado (100 ou 800 *counts.min*⁻¹) (Reilly et al., 2008). No presente estudo, a capacidade de discriminação do SED foi melhor pelos limiares de 100 e 200 *counts.min*⁻¹ (EV, TR e MT). Os limiares de 400 e 800 *counts.min*⁻¹ (VN e PU) apresentaram maior taxa de falsos positivos (10,5 e 18,8%, respectivamente). Similarmente, Trost et al. (2011) relataram que o limiar de PU apresentou menor acurácia para a classificação do SED e maior taxa de falsos positivos (39,3%) quando comparado ao limiar de 100 *counts.min*⁻¹. Esses resultados sugerem que limiares elevados apresentam tendência de classificar períodos de LEV como SED. Além disso, reforçam o uso de limiares < 200 *counts.min*⁻¹ para a determinação do SED em adolescentes por meio do ActiGraph.

Para a identificação das MOD-VIG, limiares variando entre 3000 e 3600 *counts.min*⁻¹ (TR, PU, MT) têm sido recomendados para o acelerômetro ActiGraph (Reilly et al., 2008). No entanto, Trost et al. (2011) constataram que estes limiares apresentaram uma menor acurácia para a classificação das MOD-VIG quando comparados a limiares de EV (~2300 *counts.min*⁻¹). No presente estudo, o limiar de MT (~3600 *counts.min*⁻¹) apresentou menor capacidade de discriminação das MOD-VIG quando comparado aos demais limiares. Adicionalmente, houve uma tendência de melhor classificação das MOD-VIG pelo limiar de EV em relação ao limiar de PU (P=0,05). Assim, o uso de menores limiares, tais como aqueles sugeridos por EV, parece fornecer uma melhor caracterização da MOD-VIG praticadas por adolescentes em relação a limiares ≥ 3200 *counts.min*⁻¹.

É importante ressaltar que ainda não há na literatura um consenso sobre qual o equivalente metabólico (3 ou 4 METs) é mais apropriado para determinar MOD-VIG em crianças e adolescentes

(Harrell et al., 2005; Ridley & Olds, 2008). Nesse sentido, alguns limiares de acelerômetros para MOD-VIG foram elaborados a partir de um critério de 3 METs (Puyau et al., 2002), enquanto outros utilizaram 4 METs (Mattocks et al., 2007; Treuth et al., 2004). Assim, o critério adotado no presente estudo para determinar MOD-VIG (3 METs) pode ter favorecido os menores limiares de EV e VN em relação aos limiares de TR, PU e MT. Contudo, empregando 4 METs como critério para MOD-VIG, Trost et al. (2011) observaram melhor acurácia de classificação das MOD-VIG por meio do limiar de EV quando comparado aos limiares de TR, PU e MT.

Outro fator que deve ser considerado para a interpretação da validade dos limiares das MOD-VIG diz respeito ao protocolo de atividades físicas utilizado. O presente estudo foi projetado para incluir duas atividades físicas (caminhada a 4 km/h e corrida a 7,2 km/h) nos pontos limítrofes entre LEV e MOD, e, MOD e VIG, além de uma atividade com intensidade essencialmente moderada (voleibol) no meio deste intervalo. Entretanto, dados do voleibol foram excluídos das análises e vários casos das atividades consideradas vigorosas foram classificados como moderadas. Considerando que *counts* para estas atividades são mais elevados, os maiores limiares (TR, PU e MT) foram favorecidos e as análises se tornaram pouco discriminativas. É provável que com um maior número de atividades moderadas, limiares mais elevados tenderiam a perder sensibilidade, e, conseqüentemente, acurácia de classificação das MOD-VIG. Em análises paralelas, nós consideramos apenas as atividades ambulatorias (caminhada e corrida) e verificamos que a acurácia de classificação das MOD-VIG diminuiu para os maiores limiares de TR, PU e MT (ROC = 0,86 a 0,83) e se manteve constante para os limiares de EV e VN (ROC = 0,93 e 0,94).

Embora as recomendações de atividade física para adolescentes englobem MOD-VIG (Strong et al., 2005), discriminar com precisão MOD e VIG é importante, uma vez que o efeito da prática de atividade física sobre desfechos de saúde parece ser dependente da intensidade do esforço (Parikh & Stratton, 2011). Para a determinação da VIG, constatou-se que à medida que os limiares testados aumentaram de 3900 (VN) para 8200 (PU) *counts.min⁻¹*, a capacidade de distinção das VIG diminuiu e os limiares se tornaram muito específicos e pouco sensíveis. Nesse sentido, a acurácia de classificação das VIG por meio dos limiares de VN e EV (3918 e 4012 *counts.min⁻¹*, respectivamente) foi próximo a excelente (ROC = 0,88-0,89), enquanto que a capacidade de discriminação dos demais limiares foi pobre ou razoável (ROC = 0,57 a 0,78). O comportamento e a magnitude dos indicadores de validade

destes limiares foram extremamente similares no estudo de Trost et al. (2011). Estes autores verificaram muito boa capacidade de predição da VIG pelo limiar de EV (ROC = 0,84) e razoável a pobre predição dos limiares de TR, MT e PU (ROC = 0,54 a 0,73). Em conjunto, estes resultados adicionam uma consistente informação de que limiares para o ActiGraph próximos a 4000 *counts.min*⁻¹ parecem mais apropriados para a determinação da VIG em adolescentes.

Duas limitações deste estudo devem ser consideradas. Primeiro, para obtenção de medidas do VO₂ em estado estável, as atividades foram padronizadas e, portanto, não necessariamente refletiram os padrões de atividades intermitentes normalmente observados em adolescentes. Porém, ressalta-se que esse aspecto metodológico também foi adotado em outros estudos (Puyau et al., 2002; Treuth et al., 2004; Mattocks et al., 2007; Evenson et al., 2008; Trost et al., 2011; Vanhelst et al., 2011). Segundo, apesar da ampla variação dos limiares analisados para MOD / MOD-VIG (1900 a 3600 *counts.min*⁻¹), o alcance das áreas sob a curva ROC foi estreita para estas intensidades. Portanto, a inclusão de um maior número de atividades moderadas poderia tornar as análises mais discriminativas. Mesmo assim, a direção dos resultados deste estudo para MOD-VIG foram relativamente consistentes com aqueles relatados por (Trost et al., 2011). Pontos positivos do estudo também devem ser destacados. Primeiro, o tamanho amostral deste estudo foi maior do que a maioria dos estudos de calibração que deram origem aos limiares validados, o que garantiu um poder adequado nas análises. Segundo, as atividades do protocolo de calibração foram representativas do cotidiano de adolescentes, adicionando maior validade externa ao estudo. Terceiro, o uso da calorimetria indireta como medida critério permitiu considerar a variabilidade na intensidade do esforço entre os adolescentes dentro de cada atividade física desempenhada.

Em conclusão, os resultados do presente estudo indicam que limiares de 100-200, 2300 e 4000 *counts.min*⁻¹ apresentam melhor acurácia de classificação do SED, MOD-VIG e VIG em relação a limiares de 400-800, 3200-3600 e 5200-8200 *counts.min*⁻¹, respectivamente. Em termos gerais, limiares de EV e VN desempenham melhor nas quatro intensidades da atividade física quando comparados aos limiares de MT e PU. No entanto, limiar de EV esteve associado a uma melhor estimativa do SED do que o limiar de VN. Portanto, sugere-se o uso dos limiares de EV para a determinação da intensidade da atividade física por meio do acelerômetro ActiGraph em adolescentes. Os achados do presente estudo não suportam o uso dos limiares de MT e PU em adolescentes.

REFERÊNCIAS

- Altman, D. (1991). *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall.
- Chinapaw, M. J., Mokkink, L. B., van Poppel, M. N., van Mechelen, W. & Terwee, C. B. (2010). Physical activity questionnaires for youth: a systematic review of measurement properties. *Sports Medicine*, 40, 539-563.
- Cliff, D. P. & Okely, A. D. (2007). Comparison of two sets of accelerometer cut-off points for calculating moderate-to-vigorous physical activity in young children. *Journal of Physical Activity & Health*, 4, 509-513.
- De Vries, S. I., Van Hirtum, H. W., Bakker, I., Hopman-Rock, M., Hirasings, R. A. & Van Mechelen, W. (2009). Validity and reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 818-827.
- DeLong, E. R., DeLong, D. M. & Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 44, 837-845.
- Evenson, K. R., Catellier, D. J., Gill, K., Ondrak, K. S. & McMurray, R. G. (2008). Calibration of two objective measures of physical activity for children. *Journal of Sports Sciences*, 26, 1557-1565.
- Farias Junior, J. C., Lopes A. S., Florindo, A. A. & Hallal, P. C. (2010). Validity and reliability of self-report instruments for measuring physical activity in adolescents: a systematic review. *Cadernos de Saude Publica*, 26, 1669-1691.
- Freedson, P., Pober, D. & Janz, K. F. (2005). Calibration of accelerometer output for children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, S523-530.
- Guinhouya, C. B., Hubert, H., Soubrier, S., Vilhelm, C., Lemdani, M. & Durocher, A. (2006). Moderate-to-vigorous physical activity among children: discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity (Silver Spring)*, 14, 774-777.
- Harrell, J. S., McMurray, R. G., Baggett, C. D., Pennell, M. L., Pearce, P. F. & Bangdiwala, S. I. (2005). Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 329-336.
- Mattocks, C., Leary, S., Ness, A., Deere, K., Saunders, J., Tilling, K. et al. (2007). Calibration of an accelerometer during free-living

- activities in children. *International Journal of Pediatric Obesity*, 2, 218-226.
- Mattocks, C., Ness, A., Leary, S., Tilling, K., Blair, S. N., Shield, J. et al. (2008). Use of accelerometers in a large field-based study of children: protocols, design issues, and effects on precision. *Journal of Physical Activity and Health*, 5, S98-111.
- McClain, J. J., Abraham, T. L., Brusseau, T. A., Jr. & Tudor-Locke, C. (2008). Epoch length and accelerometer outputs in children: comparison to direct observation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 2080-2087.
- Metz, C. E. (1978). Basic principles of ROC analysis. *Seminars in Nuclear Medicine*, 8, 283-298.
- Parikh, T. & Stratton, G. (2011). Influence of intensity of physical activity on adiposity and cardiorespiratory fitness in 5-18 year olds. *Sports Medicine*, 41, 477-488.
- Pate, R. R., Almeida, M. J., McIver, K. L., Pfeiffer, K. A. & Dowda, M. (2006). Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity (Silver Spring)*, 14, 2000-2006.
- Pate, R. R., O'Neill, J. R. & Lobelo, F. (2008). The evolving definition of "sedentary". *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36, 173-178.
- Pfeiffer, K. A., McIver, K. L., Dowda, M., Almeida, M. J. & Pate, R. R. (2006). Validation and calibration of the Actical accelerometer in preschool children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 152-157.
- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A. & Butte, N. F. (2002). Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obesity Research*, 10, 150-157.
- Reilly, J. J., Coyle, J., Kelly, L., Burke, G., Grant, S. & Paton, J. Y. (2003). An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds. *Obesity Research*, 11, 1155-1158.
- Reilly, J. J., Penpraze, V., Hislop, J., Davies, G., Grant, S. & Paton, J. Y. (2008). Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: review with new data. *Archives of Disease in Childhood*, 93, 614-619.
- Ridley, K. & Olds, T. S. (2008). Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40, 1439-1446.
- Rowlands, A. V. (2007). Accelerometer assessment of physical activity in children: an update. *Pediatric Exercise Science*, 19, 252-266.

- Sasaki, J. E., John, D. & Freedson, P. S. (2011). Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 14, 411-416.
- Sirard, J. R., Trost, S. G., Pfeiffer, K. A., Dowda, M. & Pate, R. R. (2005). Calibration and Evaluation of an Objective Measure of Physical Activity in Preschool Children. *Journal of Physical Activity & Health*, 3, 345-357.
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B. et al. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *The Journal of Pediatrics*, 146, 732-737.
- Tremblay, M. S., Colley, R. C., Saunders, T. J., Healy, G. N. & Owen, N. (2010). Physiological and health implications of a sedentary lifestyle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35, 725-740.
- Treuth, M. S., Schmitz, K., Catellier, D. J., McMurray, R. G., Murray, D. M., Almeida, M. J. et al. (2004). Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1259-1266.
- Trost, S. G., Loprinzi, P. D., Moore, R. & Pfeiffer, K. A. (2011). Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1360-1368.
- van Cauwenberghe, E., Labarque, V., Trost, S. G., de Bourdeaudhuij, I. & Cardon, G. (2011). Calibration and comparison of accelerometer cut points in preschool children. *International Journal of Pediatric Obesity*, 6, e582-589.
- Vanhelst, J., Beghin, L., Turck, D. & Gottrand, F. (2011). New validated thresholds for various intensities of physical activity in adolescents using the Actigraph accelerometer. *International Journal of Rehabilitation Research*, 34, 175-177.

CAPÍTULO 5

5. CALIBRAÇÃO DOS ACELERÔMETROS ACTIGRAPH GT3X, ACTICAL E RT3 EM ADOLESCENTES⁴

RESUMO

O objetivo do estudo foi desenvolver limiares para *counts* dos acelerômetros ActiGraph GT3X, RT3 e Actical para classificar diferentes intensidades de atividade física em adolescentes. Setenta e nove adolescentes (10–15 anos) participaram do estudo. Os dados de *counts* dos acelerômetros e de consumo de oxigênio (VO₂) foram coletados em repouso e em onze atividades físicas de diferentes intensidades. Acelerômetros foram utilizados na cintura e o VO₂ foi mensurado pelo sistema metabólico portátil Cosmed K4b2. Curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) foram utilizadas para determinar limiares em que a sensibilidade e a especificidade foram maximizadas. Limiares para atividades sedentárias (SED), moderadas a vigorosas (MOD) e vigorosas (VIG) foram de 46, 607 e 818 *counts*.15s⁻¹ para o eixo vertical do ActiGraph, 180, 757 e 1112 *counts*.15s⁻¹ para o vetor magnitude do ActiGraph, 17, 441 e 873 *counts*.15s⁻¹ para o Actical e 5,6, 20,4 e 32,2 *counts*.s⁻¹ para o RT3, respectivamente. Para os três acelerômetros foi observada uma discriminação quase perfeita das SED e das MOD (ROC>0,97) e excelente discriminação das VIG (ROC>0,90). Áreas sob a curva ROC indicaram melhor discriminação das MOD pelo ActiGraph e Actical quando comparados ao RT3 (P<0,05). A predição das intensidades não foi melhorada quando as análises foram estratificadas por idade e sexo. Os limiares desenvolvidos no presente estudo para os acelerômetros ActiGraph GT3X, Actical e RT3 podem ser utilizados para monitorar a atividade física habitual de adolescentes.

Palavras-chave: sensores de movimentos, pontos de corte, atividade física, comportamento sedentário, jovens

⁴ Artigo submetido ao *European Journal of Sports Science*

Coautores: Edio Luiz Petroski – UFSC, David Ohara – UEL, Antonio Carlos Dourado – UEL, Felipe Fossati Reichert - UFPel

INTRODUÇÃO

A prática de atividades físicas de intensidade moderada a vigorosa e/ou o tempo gasto em comportamentos sedentários podem afetar a saúde de crianças e adolescentes de diferentes maneiras (Janssen & Leblanc, 2010; Strong, et al., 2005). Ressalta-se que a maioria dos estudos que geraram estas evidências utilizou instrumentos auto-relatados para a avaliação da atividade física e, viés de informação pode afetar as medidas de frequência e associação. Assim, medidas da atividade física e do comportamento sedentário com maior grau de validade são necessárias para: a) determinar a relação entre atividade física/sedentarismo e agravos à saúde; b) verificar a tendência secular de atividade física/sedentarismo; c) avaliar a efetividade de programas de intervenção voltados à promoção de um estilo de vida ativo e; d) investigar os determinantes da atividade física.

Nesse sentido, o uso de acelerômetros tem aumentado em estudos envolvendo crianças e adolescentes (Rowlands, 2007), uma vez que permitem identificar associações que não são perceptíveis com medidas subjetivas, minimizam o viés de informação e podem melhorar o entendimento da relação entre atividade física, comportamento sedentário e saúde (Reilly, et al., 2008). Os acelerômetros detectam as acelerações dos movimentos corporais e as transformam em uma medida denominada *counts*. *Counts* não apresentam significado biológico ou comportamental (Freedson, Pober, & Janz, 2005), variam conforme a característica do acelerômetro (uniaxial, unidirecional e triaxial) (Chen & Bassett, 2005) e podem ser influenciados por características físicas dos sujeitos (Freedson, et al., 2005). Nesse sentido, a interpretação de *counts* dos acelerômetros pode ser realizada mediante a utilização de limiares derivados de estudos de calibração específicos à população (crianças, adolescentes, adultos) e ao fabricante.

O ActiGraph é o acelerômetro mais utilizado na literatura (De Vries, et al., 2009) e estudos de calibração com crianças e adolescentes já foram realizados (Evenson, Catellier, Gill, Ondrak, & McMurray, 2008; Mattocks, et al., 2007; Puyau, Adolph, Vohra, & Butte, 2002; Treuth, et al., 2004; Vanhelst, Beghin, Turck, & Gottrand, 2011). Ao contrário das versões anteriores, o modelo atual do ActiGraph (GT3X) utiliza um acelerômetro triaxial de estado sólido para medir dados de movimento em três eixos. Considerando que o processo de coleta e armazenamento das versões uniaxiais e triaxial do ActiGraph são diferentes, limiares desenvolvidos para os modelos 7164 e GT1M

podem não ser aplicáveis ao modelo GT3X. Assim, o desenvolvimento de limiares para a nova versão do ActiGraph é premente.

O Actical e o RT3 são outros dois modelos de acelerômetros comumente utilizados na literatura (Rowlands, 2007). O Actical é atraente em estudos com crianças e adolescentes devido ao seu reduzido tamanho, enquanto que o RT3 é um dos poucos acelerômetros triaxiais disponíveis. Alguns estudos têm calibrado estes acelerômetros em crianças e adolescentes (Chu, McManus, & Yu, 2007; Colley & Tremblay, 2011; Evenson, et al., 2008; Kavouras, Sarras, Tsekouras, & Sidossis, 2008; Puyau, Adolph, Vohra, Zakeri, & Butte, 2004; Rowlands, Thomas, Eston, & Topping, 2004; Vanhelst, et al., 2010) e os limiares têm sido divergentes. Sendo assim, o objetivo do presente estudo foi de derivar limiares para os acelerômetros ActiGraph (GT3X), Actical e RT3, destinados à identificação do comportamento sedentário e das atividades de intensidades leves, moderadas e vigorosas, em adolescentes brasileiros entre 10 e 15 anos.

MÉTODOS

Amostra

Entre setembro de 2010 a março de 2011, adolescentes de 10 a 15 anos matriculados de 5^a à 8^a séries de uma escola pública de Londrina – PR foram convidados para participar do estudo. O cálculo do tamanho amostral considerou uma área sob a curva ROC (Receiver Operator Curves) de 0,79, a qual foi a menor área observada em estudos de calibração de acelerômetros em adolescentes (De Bock, et al., 2010), erro do tipo I de 0,05 e poder de 90%, totalizando um número mínimo de 78 sujeitos. Dentre os que concordaram em participar do estudo, 79 adolescentes de ambos os sexos foram aleatoriamente selecionados. O protocolo do estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (protocolo 445/2010) e os pais assinaram o termo de consentimento para a participação do filho no estudo.

Medidas

Antropometria

Medidas antropométricas de massa corporal e estatura foram coletadas mediante a utilização de uma balança eletrônica (Urano,

modelo PS 180) com resolução de 0,1 kg e de um estadiômetro com escalas de 0,5 cm. Durante as medidas os sujeitos estavam descalços e trajando roupas leves. O estado nutricional foi determinado de acordo com os pontos de corte para valores de IMC sugeridos por Cole, Bellizzi, Flegal, & Dietz (2000).

Acelerometria

Os acelerômetros estudados foram o Actical, ActiGraph GT3X e RT3. O Actical (Mini Mitter Co., Inc., Bend OR) é o menor (2,8 x 2,7 x 1,0 centímetros) e mais leve (17 gramas) acelerômetro comercialmente disponível. É classificado como omnidirecional, ou seja, capta o movimento em todas as direções, embora seja orientado para detectar a aceleração vertical (Heil, 2006). Quando fixado no quadril, este dispositivo se torna mais sensível aos movimentos verticais do torso. O Actical é sensível a movimentos em uma faixa de frequência de 0,5 a 3 Hz. Este acelerômetro é capaz de armazenar dados em *epochs* de 15, 30 ou 60 segundos. O ActiGraph (ActiGraph LLC, Pensacola, Fla, USA), modelo GT3X pesa 27 gramas e tem pequenas dimensões (3,8 x 3,7 x 1,8 centímetros). Possui um acelerômetro triaxial que coleta informações nos três eixos (vertical, médio-lateral e ântero-posterior) e combina estas informações em um vetor magnitude. O ActiGraph GT3X registra acelerações em uma magnitude de 0,05 a 2,5 G's. O sinal é digitalizado e passa por um filtro que limita a frequência a uma variação de 0,25 a 2,5 Hz. O epoch do GT3X pode variar de 1 a 360 segundos. O acelerômetro RT3 (StayHealthy, Inc., Monrovia, CA) possui dimensões de 7,1 x 5,6 x 2,8 centímetros e pesa 65,2 gramas. O RT3 utiliza acelerômetros piezelétricos que quando posicionados no quadril, detectam acelerações nos eixos vertical (X), ântero-posterior (Y) e médio-lateral (Z). Estas informações podem ser combinadas para gerar a medida triaxial (vetor magnitude) (Chu, et al., 2007; Kavouras, et al., 2008). O RT3 registra informações em *epochs* de 1 ou 60 segundos.

Duas unidades do Actical e cinco do ActiGraph GT3X e do RT3 foram utilizadas no estudo. Os dispositivos foram fixados no quadril dos indivíduos. Cada adolescente foi monitorado simultaneamente por uma unidade de acelerômetro de cada fabricante. Os acelerômetros foram fixados na cintura e posicionados na linha axilar anterior no nível da crista-ílica do quadril direito ou esquerdo. *Counts* foram registrados em *epochs* de 15 segundos para o ActiGraph e Actical e, em *epochs* de um segundo para o RT3.

Calorimetria indireta

Medidas do consumo de oxigênio (VO_2) respiração por respiração e de frequência cardíaca (FC) foram obtidas pelo sistema metabólico portátil da marca Cosmed (Model K4b2, Rome, Italy). O K4b2 é um equipamento leve (925 gramas) composto por uma máscara conectada a um sistema analisador miniaturizado, uma bateria e um transmissor de frequência cardíaca POLAR Pacer. Cerca de uma hora antes de cada sessão de mensuração, a unidade foi calibrada com gases padrão conforme as instruções do fabricante. Este equipamento foi validado em adolescentes (Harrell, et al., 2005) e tem sido utilizado em protocolos de calibração de acelerômetros envolvendo este grupo populacional.

Procedimentos

Todos os dados foram coletados no Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina em uma única ocasião. Adolescentes foram orientados a jejuar nas duas horas que antecederam o início das avaliações para minimizar o impacto do efeito térmico dos alimentos sobre as medidas de VO_2 . Este procedimento é similar àqueles adotados em outros estudos (Pate, Almeida, McIver, Pfeiffer, & Dowda, 2006; Pfeiffer, McIver, Dowda, Almeida, & Pate, 2006). Inicialmente, medidas antropométricas de massa corporal e estatura foram obtidas. Em seguida, o Cosmed e os acelerômetros foram fixados no avaliado para coletar medidas de VO_2 e *counts* em repouso e durante onze tipos de atividades físicas.

A descrição e a ordem das atividades realizadas são descritas na tabela 1. As intensidades das atividades variaram de sedentárias a vigorosas e foram selecionadas de forma a representar as atividades físicas do cotidiano de adolescentes com faixa etária semelhante a do estudo. Com exceção do período de repouso, que durou 20 minutos, cada atividade foi realizada durante cinco minutos. A duração de cada atividade foi similar a de outros estudos (Heil, 2006; Mattocks, et al., 2007). Entre cada atividade, foi concedido um período de recuperação de cinco minutos. Os acelerômetros e o sistema Cosmed foram sincronizados e inicializados no minuto inicial do período de repouso. Cada atividade foi iniciada em um novo minuto para facilitar o processamento das informações.

Tabela 1. Descrição das atividades a serem realizadas no protocolo de calibração

Atividade	Descrição	Intensidade
Repouso	Deitar em posição supinada, braços ao lado do corpo, com instruções de minimizar os movimentos corporais	Sedentária
DVD	Sentar em uma cadeira e assistir filmes infantis	Sedentária
Escrever	Sentar em uma cadeira e redigir um texto padronizado com os braços apoiados em uma mesa	Sedentária
Videogame	Sentar em uma poltrona e utilizar controles de mão para jogar videogame (Playstation 3)	Sedentária
Em pé	Permanecer em pé, sendo permitida a movimentação leve dos membros	Sedentária
Caminhar 2 km/h	Caminhar a uma velocidade de 2 km/h	Leve
Caminhar 4 km/h	Caminhar a uma velocidade de 4 km/h	Moderada
Voleibol	Jogar voleibol em dupla em uma quadra com tamanho reduzido	Moderada
Correr 7,2 km/h	Correr a uma velocidade de 7,2 km/h	Vigorosa
Futebol	Conduzir uma bola de futsal e realizar arremate ao gol.	Vigorosa
Basquetebol	Realizar dribles entre obstáculos e arremessar a bola à cesta	Vigorosa
Pular corda	Pular corda de forma ritmada	Vigorosa

O período de repouso e as atividades sedentárias foram conduzidos em um laboratório climatizado (valores médios de temperatura e umidade do ar de 22,4° e 58,5%, respectivamente) enquanto que as outras atividades físicas foram realizadas em um ginásio de esportes coberto (valores médios de temperatura e umidade do ar de 26,5° e 52,7%, respectivamente). Para a mensuração do VO₂ em repouso, os adolescentes permaneceram deitados em uma maca em um ambiente tranquilo e parcialmente iluminado. Durante a medida, somente a máscara foi usada pelo avaliado e a unidade Cosmed foi posicionada ao lado da maca. Durante as atividades de caminhadas e

corrida, um avaliador ditou o ritmo dos adolescentes utilizando um sensor de velocidade (Polar S1 Foot Pod, Polar RS 300XTM).

Redução dos dados

As informações registradas pela calorimetria indireta e pelos acelerômetros foram transferidas para uma planilha do programa Microsoft Office Excel 2007. Para fins de análise, os minutos 16-20 do período de repouso e os minutos 4-5 de cada atividade física foram considerados. Medidas de VO₂ registrados pela calorimetria e de *counts* registrados pelos acelerômetros foram computados como valores médios para cada atividade. O estado estável do VO₂ nos minutos 16-20 do repouso e 4-5 de cada atividade foram confirmados por inspeção visual. Escores de METs foram computados individualmente por meio da divisão do VO₂ (ml.kg.min⁻¹) registrado em cada atividade pelos valores de VO₂ (ml.kg.min⁻¹) registrados em repouso. Em seguida, escores de MET foram categorizados como atividades de intensidade sedentárias (SED) (<1,5 METs), leves (LEV) (≥1,5 e <3 METs), moderadas a vigorosas (MOD) (≥3 METs) ou vigorosas (VIG) (≥6 METs). Essa classificação é sugerida em prévios estudos (Chu, et al., 2007; Puyau, et al., 2004; Rowlands, et al., 2004), a despeito de um debate sobre o uso de 3 ou 4 MET's para definir atividades de intensidade moderada em crianças e adolescentes.

Análise estatística

Valores de média e desvio-padrão foram determinados para todas as variáveis. Limiares para SED, MOD e VIG foram determinados por Curvas ROC (Jago, Zakeri, Baranowski, & Watson, 2007). O critério para a determinação de cada limiar foi o ponto no qual a sensibilidade e a especificidade foram maximizadas. Foram consideradas como variáveis independentes os valores médios de *counts* registrados por cada modelo de acelerômetro em cada atividade. Considerou-se como variável dependente os valores de MET registrados em cada atividade, os quais foram transformados em variáveis dicotômicas (0 e 1). Assim, para determinar o limiar SED, as atividades foram categorizadas como sedentárias = 1 (< 1,5 METs) ou não sedentárias = 0 (≥ 1,5 METs). Com relação ao limiar para MOD, as atividades foram classificadas como moderadas = 1 (≥ 3 METs) ou inferiores às intensidades moderadas = 0 (< 3 METs). Finalmente, para a determinação do limiar para VIG, as atividades foram classificadas

como vigorosas = 1 (≥ 6 METs) ou inferiores às intensidades vigorosas = 0 (<6 METs). Os pontos de corte referentes às intensidades sedentárias e moderadas foram adotados como limiares inferiores e superiores relacionados à categoria de intensidade leve. O teste de Hanley & McNeil (1983) foi utilizado para comparação de eventuais diferenças na área sob a curva ROC por sexo, idade ou por modelo de acelerômetro.

RESULTADOS

A descrição da amostra é apresentada na tabela 2. A amostra do estudo foi balanceada quanto ao sexo e idade. Medidas de massa corporal e estatura variaram de 26,4 a 73,3 kg e de 135,0 a 176,5 cm, respectivamente. Cerca de 23% dos adolescentes estudados apresentaram excesso de peso.

Tabela 2. Características gerais da amostra

Variável	Meninos (n = 40)	Meninas (n = 39)	Geral (n = 79)
Idade (anos)	12,6 (1,3)	12,5 (1,4)	12,5 (1,3)
Massa (kg)	48,8 (10,7)	48,3 (10,7)	48,5 (10,7)
Estatura (cm)	157,1 (9,3)	155,5 (8,2)	156,3 (8,8)
IMC (kg/m ²)	19,6 (3,1)	19,8 (3,4)	19,7 (3,2)
Distribuição por idade (%)			
10,0 – 12,5 anos	47,4	52,6	48,1
12,5 – 15,0 anos	53,7	46,3	51,9
% excesso de peso	20,0%	25,7%	22,8%

Valores médios de consumo de oxigênio, METs, frequência cardíaca e *counts* dos acelerômetros para cada tarefa são apresentados na Tabela 3. De um total de 948 casos possíveis para cada variável (79 sujeitos x 12 atividades), informações completas de VO₂ e *counts* do Actical, ActiGraph e RT3 foram obtidas em 918 (96,8%), 896 (94,5%) e 740 (78,0%) casos, respectivamente. Critérios de exclusão foram: a) fadiga voluntária (2,5%); b) falha do Cosmed (0,5%); c) falha na inicialização ou no download das informações dos acelerômetros (2,5 e 21,9% para ActiGraph e RT3, respectivamente).

Tabela 3. Média de VO₂, MET e *counts* dos acelerômetros para cada atividade

	VO ₂ (ml.kg.min ⁻¹)	MET	Actical (<i>counts</i> 15s ⁻¹)	ActiGraph (EV) (<i>counts</i> .15 s ⁻¹)	ActiGraph (VM) (<i>counts</i> 15 s ⁻¹)	RT3 (<i>counts</i> .s ⁻¹)
Repouso	4,5 (1,4)	1	0,2 (1,2)	2,8 (9,3)	8,1 (38,1)	0,1 (0,2)
DVD	4,6 (1,2)	1,1 (0,2)	0,5 (1,9)	2,7 (7,0)	22,9 (31,3)	0,5 (0,9)
Escrever	5,2 (1,8)	1,2 (0,2)	0,4 (0,2)	0,2 (1,0)	6,7 (11,1)	0,2 (0,6)
Videogame	5,3 (1,5)	1,2 (0,3)	0,3 (1,0)	2,8 (6,1)	25,0 (30,6)	0,6 (0,9)
Em pé	5,8 (1,5)	1,3 (0,3)	2,1 (4,0)	2,3 (7,9)	32,7 (39,5)	1,2 (1,1)
Caminhar (2 km/h)	9,5 (1,9)	2,2 (0,5)	137,4 (72,2)	146,3 (69,5)	423,9 (101,6)	12,5 (3,5)
Caminhar (4 km/h)	12,8 (2,3)	3,0 (0,7)	551,9 (93,9)	684,5 (110,2)	869,0 (118,1)	26,0 (6,8)
Voleibol	17,9 (4,9)	4,2 (1,3)	288,1 (127,8)	358,3 (170,3)	723,8 (221,8)	14,6 (5,6)
Correr (7,2 km/h)	27,8 (6,0)	6,5 (1,7)	2437,3 (357,8)	1724,2 (336,0)	1866,3 (318,2)	61,3 (15,6)
Futebol	31,8 (8,4)	7,4 (2,1)	1449,1 (373,8)	1167,5 (257,7)	1604,5 (237,1)	52,7 (14,2)
Basquetebol	30,4 (7,6)	7,0 (1,9)	1402,4 (480,9)	1312,9 (373,8)	1638,6 (342,1)	46,5 (14,2)
Pular corda	29,9 (7,4)	6,9 (2,1)	1772,2 (849,6)	2039,7 (628,5)	2244,7 (592,0)	46,1 (11,7)

EV = eixo vertical; VM = vetor magnitude

A intensidade das atividades variou entre 1,1 (assistir DVD) e 7,4 (futebol) escores de METs. *Counts* do eixo vertical do Actical e ActiGraph e, do vetor magnitude do ActiGraph, variaram entre 0,5–2437, 0,2–2039,7 e 8,2–2244 *counts*.15 s⁻¹, respectivamente. Para o RT3, *counts* do vetor magnitude variaram entre 0,2 e 61,3 *counts*.s⁻¹. Nos três acelerômetros investigados, valores de *counts* para voleibol foram inferiores aos observados na caminhada a 4 km/h, apesar de um incremento de 40% no VO₂. A característica desta atividade proporcionou momentos de não envolvimento dos avaliados (bola com oponentes), acarretando valores de *counts* dispersos a cada epoch registrado. Assim, nós optamos por excluir os dados do voleibol nas análises subseqüentes.

Limiares de *counts* para SED, LEV, MOD e VIG são apresentados na Tabela 4. Para os três acelerômetros analisados, a curva ROC indicou discriminação quase perfeita das SED e das MOD (ROC ≥ 0,97) e excelente discriminação da VIG (ROC > 0,90). Análises separadas por sexo ou por grupo etário (10,0–12,5 x 12,5–15,0 anos) não indicaram diferenças significativas nas áreas sob a curva ROC. De um modo geral, os limiares foram mais sensíveis do que específicos. Ao examinar as áreas sob a curva ROC por acelerômetro, foi identificado melhor discriminação da MOD pelos acelerômetros ActiGraph e Actical quando comparados ao RT3 (P<0,05) (Figura 1). A identificação das SED e das VIG foi semelhante entre os três acelerômetros. A predição das SED, MOD e VIG foram similar para o eixo vertical e o vetor magnitude do GT3X.

DISCUSSÃO

O presente estudo derivou limiares para *counts* da nova versão do acelerômetro ActiGraph GT3X e dos acelerômetros Actical e RT3 destinados à identificação de diferentes intensidades da atividade física em adolescentes entre 10 e 15 anos. A discriminação das SED, MOD e VIG foi excelente (ROC > 0,90) a partir do uso dos limiares desenvolvidos para os três acelerômetros. Adicionalmente, foi verificado que os acelerômetros ActiGraph e Actical apresentaram melhor capacidade para identificar as MOD quando comparados ao RT3, e, que limiares específicos ao sexo e ao grupo etário não são necessários para esta população.

Tabela 4. Sensibilidade, especificidade, área sob a curva ROC e pontos de corte para *counts* dos acelerômetros ActiGraph (GT3X), Actical e RT3 específicos para adolescentes

	Sensibilidade(%)	Especificidade (%)	Área sob curva ROC	Counts
ActiGraph (VM)				
SED	98,2	94,1	0,976 (0,962–0,986)	0 – 180 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
LEV	---	---	---	181 – 756 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
MOD	97,8	93,3	0,993 (0,984–0,998)	757 – 1111 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
VIG	99,5	83,7	0,930 (0,909–0,947)	≥ 1112 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
ActiGraph (EV)				
SED	98,3	93,9	0,971 (0,957–0,981)	0 – 46 <i>counts</i> .15s ⁻¹
LEV	---	---	---	47 – 606 <i>counts</i> .15s ⁻¹
MOD	96,9	94,2	0,994 (0,985–0,998)	607 – 817 <i>counts</i> .15s ⁻¹
VIG	97,9	84,9	0,935 (0,916–0,951)	≥ 818 <i>counts</i> .15s ⁻¹
Actical				
SED	98,3	99,2	0,979 (0,966–0,988)	0 – 17 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
LEV	---	---	---	18 – 440 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
MOD	98,2	91,4	0,993 (0,984–0,997)	441 – 872 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
VIG	98,0	85,1	0,929 (0,909–0,946)	≥ 873 <i>counts</i> .15 s ⁻¹
RT3				
SED	98,3	94,2	0,980 (0,966–0,990)	0 – 5,6 <i>counts</i> .s ⁻¹
LEV	---	---	---	5,7 – 20,3 <i>counts</i> .s ⁻¹
MOD	94,4	91,9	0,983 (0,969–0,991)	20,4 – 32,1 <i>counts</i> .s ⁻¹
VIG	91,2	84,9	0,911 (0,886–0,933)	≥ 32,2 <i>counts</i> .s ⁻¹

Onde: VM= vetor magnitude; EV= eixo vertical; SED <1,5 METs; LEV ≥1,5 e <3 METs; MOD ≥3 METs; VIG ≥6 METs.

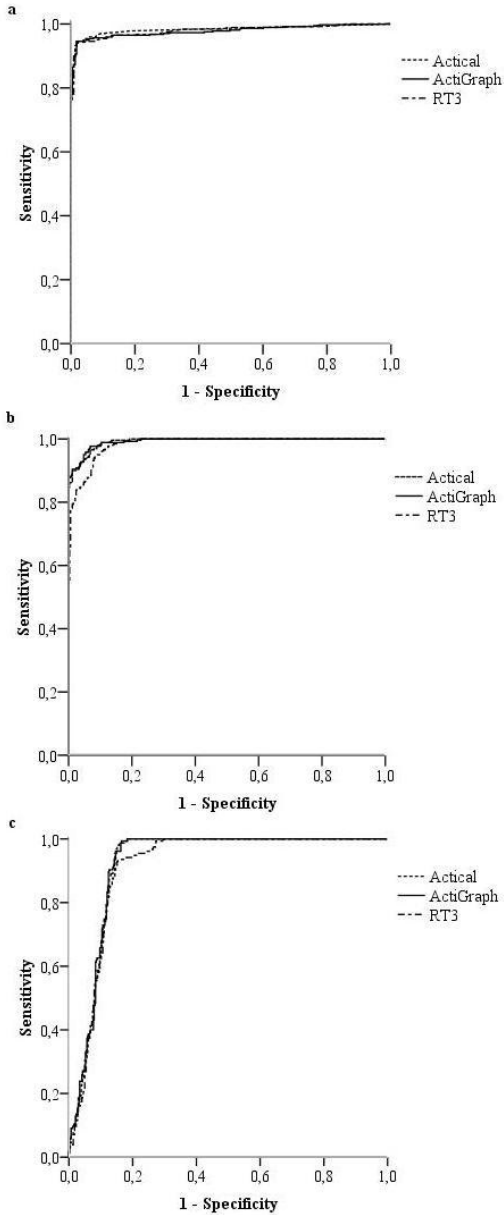


Figura 1. Curvas ROC para atividades físicas sedentárias (a), moderadas (b) e vigorosas (c)

Este é o primeiro estudo de calibração da versão triaxial do acelerômetro ActiGraph (GT3X) em adolescentes. Em um protocolo com onze atividades físicas, os limiares derivados do eixo vertical e do vetor magnitude do ActiGraph apresentaram similar capacidade para discriminar as intensidades da atividade física. Muitas das atividades físicas empregadas no presente estudo apresentam um grande componente de aceleração vertical, o que pode ter contribuído para o similar desempenho entre as medidas obtidas pelo eixo vertical e pelo vetor magnitude do GT3X. No entanto, a literatura não é consistente em mostrar que acelerômetros triaxiais desempenham melhor que acelerômetros uniaxiais (Loprinzi & Cardinal, 2011).

Os limiares derivados para SED e MOD a partir do eixo vertical do ActiGraph foram bastante similares àqueles recentemente validados por Trost et al. (Trost, Loprinzi, Moore, & Pfeiffer, 2011) em crianças e adolescentes (~ 100 e $2300 \text{ counts.min}^{-1}$ para SED e MOD, respectivamente). Esses achados suportam os limiares para SED e MOD identificados no presente estudo. Em relação às VIG, o limiar estabelecido no presente estudo foi levemente mais baixo do que aqueles indicados na literatura (Tabela 5). No entanto, Trost et al. (2011) observaram que à medida que os limiares para VIG aumentam de 4000 (ROC = 0,84; sensibilidade = 73,7%; especificidade = 93,8%) para $8200 \text{ counts.min}^{-1}$ (ROC = 0,54; sensibilidade = 7,5%; especificidade = 100%), a capacidade de distinção das VIG diminui e os limiares se tornam extremamente específicos e pouco sensíveis. Portanto, a elevada sensibilidade (97,7%) e moderada especificidade (82,7%) estabelecida no presente estudo indica que o limiar mais apropriado para VIG se localize no intervalo entre 3300 e $4000 \text{ counts.min}^{-1}$. Sendo assim, é provável que o limiar para o vetor magnitude do GT3X relacionado à VIG seja um pouco superior àquele encontrado em nosso estudo.

O outro acelerômetro triaxial calibrado neste estudo foi o RT3. Os limiares disponíveis para este acelerômetro são inconsistentes, principalmente para SED e VIG (Tabela 5). Portanto, os limiares derivados deste estudo podem adicionar consistência à literatura. Por exemplo, para identificação do comportamento sedentário, o limiar de $5,6 \text{ counts.s}^{-1}$ do nosso estudo é consistente com o achado de Chu et al. (Chu, et al., 2007) de 7 counts.s^{-1} , indicando que limiares próximos de 6 counts.s^{-1} parecem adequados para determinar SED por meio do RT3. Para MOD, o limiar de $20,4 \text{ counts.s}^{-1}$ ($\sim 1224 \text{ counts.min}^{-1}$) derivado do presente estudo é similar àqueles propostos por outros estudos (Kavouras, et al., 2008; Rowlands, et al., 2004; Vanhelst, et al., 2010).

Assim, baseado em uma excelente discriminação das MOD (ROC = 0,98), o uso do limiar estabelecido neste estudo pode ser recomendado.

Com relação às VIG, o limiar derivado neste estudo para o RT3 ($\sim 1932 \text{ counts.min}^{-1}$) é inferior aos outros limiares disponíveis na literatura (Tabela 5). Os maiores limiares têm sido observados nos estudos que utilizaram exclusivamente atividades de deslocamento (corridas) no protocolo de calibração (Chu, et al., 2007; Kavouras, et al., 2008; Vanhelst, et al., 2010). Rowlands et al. (2004) observaram um limiar de $3022 \text{ counts.min}^{-1}$ para o RT3 em atividades realizadas por meninos em esteira rolante. Quando outras atividades foram consideradas, o limiar foi consideravelmente menor ($2333 \text{ counts.min}^{-1}$). Assim, é plausível que o menor limiar verificado em no presente estudo seja decorrente do uso de atividades vigorosas variadas. Considerando que as atividades vigorosas praticadas por adolescentes não se restringem às corridas, o uso de limiares elevados para identificação de VIG por meio do RT3 parece inadequado e pode subestimar de forma importante a participação em VIG.

O Actical tem sido pouco calibrado em amostras de adolescentes. No presente estudo, os limiares para SED ($17 \text{ counts.15 s}^{-1}$ ou $\sim 68 \text{ counts.min}^{-1}$) e MOD ($441 \text{ counts.15 s}^{-1}$ ou $\sim 1764 \text{ counts.min}^{-1}$) foram semelhantes àqueles observados nos outros estudos de calibração do Actical (Tabela 5), enquanto que o limiar relacionado às VIG foi inferior ($873 \text{ counts.15 s}^{-1}$ ou $\sim 3492 \text{ counts.min}^{-1}$). Novamente, é importante considerar que as VIG dos outros estudos envolveram apenas deslocamento (Colley & Tremblay, 2011; Puyau, et al., 2004). Considerando apenas as atividades de deslocamento, dados do presente estudo indicaram um limiar para VIG muito similar àquele verificado por Puyau et al. (2004) ($1671 \text{ counts.15 s}^{-1}$ ou $\sim 6684 \text{ counts.min}^{-1}$) (dados não apresentados). Esse achado reforça que a estratégia de usar somente atividades de deslocamento pode não ser adequada.

Analisando as áreas sob a curva ROC dos três acelerômetros estudados, identificou-se pior capacidade de predição das atividades MOD pelo RT3 em relação ao ActiGraph e Actical. Mesmo assim, a discriminação destas atividades pelo RT3 foi excelente (ROC = 0,983) e não houve diferenças entre os acelerômetros para a predição das SED e VIG. Ressalta-se, entretanto, que principal deficiência do RT3 em estudos de monitoramento da atividade física se refere à sua baixa capacidade de armazenamento de dados. Para *epochs* do vetor magnitude de um segundo, ele é capaz de armazenar dados por apenas nove horas.

Tabela 5. Pontos de corte previamente publicados para acelerômetros ActiGraph, RT3 e Actical em estudos com adolescentes

Estudo	Idade (n)	Pontos de corte			
		Sedentária	Leve	Moderada	Vigorosa
ActiGraph (GT1M/7164)					
Evenson, et al. (2008)*	5-8 anos (33)	0-25 c.15 s ⁻¹	26-573 c.15 s ⁻¹	574-1002 c.15 s ⁻¹	≥1003 c.15 s ⁻¹
Mattocks, et al. (2007)	12 anos (163)	-----	-----	3581-6129 c.min ⁻¹	≥6130 c.min ⁻¹
Puyau, et al. (2002)	6-16 anos (26)	<800 c.min ⁻¹	800-3199 c.min ⁻¹	3200-8199 c.min ⁻¹	≥8200 c.min ⁻¹
Treuth, et al. (2004)	13-14anos (74)	<50 c.30 s ⁻¹	51-1499 c.30 s ⁻¹	1500-2600 c.30 s ⁻¹	>2600 c.30 s ⁻¹
Vanhelst, et al. (2011)	10-16 anos (40)	0-400 c.min ⁻¹	401-1900 c.min ⁻¹	1901-3918 c.min ⁻¹	>3918 c.min ⁻¹
Presente estudo (GT3X - EV)	10-15 anos (79)	0-46 c.15 s ⁻¹	47-606 c.15 s ⁻¹	607-817 c.15 s ⁻¹	≥ 818 c.15 s ⁻¹
Presente estudo (GT3X - VM)	10-15 anos (79)	0-180 c.15 s ⁻¹	181-756 c.15 s ⁻¹	757-1111 c.15 s ⁻¹	≥1112 c.15 s ⁻¹
RT3					
Chu, et al. (2007)	8-12 anos (35)	< 7 c.s ⁻¹	7-30,9 c.s ⁻¹	31-68,4 c.s ⁻¹	≥68,5 c.s ⁻¹
Kavouras, et al. (2008)	10-14anos (42)	-----	-----	1323-2609 c.min ⁻¹	≥2610 c.min ⁻¹
Rowlands, et al. (2004)	9±1 anos (19)	-----	-----	970-2332 c.min ⁻¹	≥2333 c.min ⁻¹
Vanhelst, et al. (2010)	10-16 anos (40)	0-40 c.min ⁻¹	41-950 c.min ⁻¹	951-3410 c.min ⁻¹	>3410 c.min ⁻¹
Presente estudo	10-15 anos (79)	0-5,6 c.s ⁻¹	5,7-20,3 c.s ⁻¹	20,4-32,1 c.s ⁻¹	≥32,2 c.s ⁻¹
Actical					
Colley & Tremblay (2011)	9-15 anos (12)	-----	-----	1600 c.min ⁻¹	≥4760 c.min ⁻¹
Puyau, et al. (2004)	7-18 anos (32)	<100 c.min ⁻¹	100-1499 c.min ⁻¹	1500-6499 c.min ⁻¹	≥6500 c.min ⁻¹
Presente estudo	10-15 anos (79)	0-17 c.15 s ⁻¹	18-440 c.15 s ⁻¹	441-872 c.15 s ⁻¹	≥ 873 c.15 s ⁻¹

c = counts; *Validado para adolescentes em estudo de Trost et al. (2011); EV = eixo vertical; VM = vetor magnitude

Em virtude de uma possível influência do tamanho corporal sobre os *counts* dos acelerômetros, uma questão importante em estudos de calibração em crianças e adolescentes se refere à necessidade de se desenvolver, ou não, pontos de corte específicos à idade ou sexo. A amostra deste estudo apresentou grande variação em termos de peso, estatura e IMC e não foi identificadas diferenças na predição das SED, MOD e VIG quando as curvas ROC foram estratificadas por sexo ou grupo etário (10,0-12,5 versus 12,5-15,0 anos). Outros estudos não observaram necessidade de pontos de corte específicos para sexo e faixa etária em estudos de calibração ou de validação de pontos de corte em crianças e adolescentes (Evenson, et al., 2008; Trost, et al., 2011). Em termos práticos, isto tende a facilitar o processo de aquisição e interpretação das informações registradas pela acelerometria em crianças e adolescentes.

Algumas limitações deste estudo devem ser consideradas. A principal limitação se refere à falta da validação cruzada dos limiares em uma amostra independente. Este processo seria importante para aumentar a confiança dos limiares desenvolvidos. Entretanto, a validação cruzada não foi possível de ser conduzida. Outros estudos que submeteram seus limiares à validação cruzada em amostras independentes não identificaram qualquer diferença relevante nos resultados (Chu, et al., 2007; Vanhelst, et al., 2010; Vanhelst, et al., 2011). No entanto, deve ser realçado que *counts* são mais dependentes das atividades testadas do que das características dos indivíduos (Corder, et al., 2007). Nesse contexto, limiares para o eixo vertical do ActiGraph foram similares àqueles validados por Trost et al. (2011) (principalmente para SED e MOD) em um protocolo de atividades diferentes daquelas usadas no presente estudo. Assim, acredita-se que os limiares derivados deste estudo possam ser válidos. Outra limitação diz respeito às medidas do VO_2 . Para obter medidas do VO_2 em estado estável, as atividades foram padronizadas e, portanto, não necessariamente refletiram os padrões intermitentes de atividades comumente observados em adolescentes.

Pontos positivos do estudo também devem ser destacados. Primeiro, este é um dos estudos de calibração de acelerômetros envolvendo adolescentes com maior tamanho amostral, o que garantiu um poder adequado nas análises. Segundo, as atividades do protocolo de calibração são representativas do cotidiano de adolescentes. Terceiro, os limiares foram derivados a partir do uso de curtos *epochs*, os quais são apropriados para identificar com maior precisão o padrão de atividades intermitentes característicos de adolescentes. Quarto, para considerar o

aumento na variabilidade entre acelerômetros de mesmo fabricante em movimentos de muito baixa e muita alta frequência (Trost, McIver, & Pate, 2005), duas unidades do Actical e cinco unidades do ActiGraph e do RT3 foram utilizadas. Finalmente, o uso de curvas ROC permitiu identificar os limiares mais apropriados para cada modelo de acelerômetro, com base no ponto em que a sensibilidade e a especificidade foram simultaneamente maximizadas. Limiares derivados a partir de curvas ROC apresentam menor erro de classificação (Jago, et al., 2007).

Em conclusão, limiares para a determinação de atividades sedentárias, leves, moderadas e vigorosas foram desenvolvidos para os acelerômetros ActiGraph (GT3X), RT3 e Actical. Estes limiares podem ser utilizados para monitorar a atividade física habitual de adolescentes por meio da acelerometria.

REFERÊNCIAS

- Chen, K. Y., & Bassett, D. R., Jr. (2005). The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, S490-500.
- Chu, E. Y., McManus, A. M., & Yu, C. C. (2007). Calibration of the RT3 accelerometer for ambulation and nonambulation in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 2085-2091.
- Cole, T. J., Bellizzi, M. C., Flegal, K. M., & Dietz, W. H. (2000). Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *British Medical Journal*, 320, 1240-1243.
- Colley, R. C., & Tremblay, M. S. (2011). Moderate and vigorous physical activity intensity cut-points for the Actical accelerometer. *Journal of Sports Sciences*, 29, 783-789.
- Corder, K., Brage, S., Mattocks, C., Ness, A., Riddoch, C., Wareham, N. J., et al. (2007) Comparison of two methods to assess PAEE during six activities in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 2180-2188.
- De Bock, F., Menze, J., Becker, S., Litaker, D., Fischer, J., & Seidel, I. (2010). Combining accelerometry and HR for assessing preschoolers' physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42, 2237-2243.
- De Vries, S. I., Van Hirtum, H. W., Bakker, I., Hopman-Rock, M., Hirasing, R. A., & Van Mechelen, W. (2009). Validity and

- reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41, 818-827.
- Evenson, K. R., Catellier, D. J., Gill, K., Ondrak, K. S., & McMurray, R. G. (2008). Calibration of two objective measures of physical activity for children. *Journal of Sports Sciences*, 26, 1557-1565.
- Freedson, P., Pober, D., & Janz, K. F. (2005). Calibration of accelerometer output for children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, S523-530.
- Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1983). A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*, 148, 839-843.
- Harrell, J. S., McMurray, R. G., Baggett, C. D., Pennell, M. L., Pearce, P. F., & Bangdiwala, S. I. (2005). Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 329-336.
- Heil, D. P. (2006). Predicting activity energy expenditure using the Actical activity monitor. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 77, 64-80.
- Jago, R., Zakeri, I., Baranowski, T., & Watson, K. (2007). Decision boundaries and receiver operating characteristic curves: new methods for determining accelerometer cutpoints. *Journal of Sports Sciences*, 25, 937-944.
- Janssen, I., & Leblanc, A. G. (2010). Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7, 40.
- Kavouras, S. A., Sarras, S. E., Tsekouras, Y. E., & Sidossis, L. S. (2008). Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *Journal of Sports Sciences*, 26, 959-966.
- Loprinzi, P. D., & Cardinal, B. J. (2011). Measuring children's physical activity and sedentary behaviors. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 9, 15-23.
- Mattocks, C., Leary, S., Ness, A., Deere, K., Saunders, J., Tilling, K., et al. (2007). Calibration of an accelerometer during free-living activities in children. *International Journal of Pediatric Obesity*, 2, 218-226.
- Pate, R. R., Almeida, M. J., McIver, K. L., Pfeiffer, K. A., & Dowda, M. (2006). Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity (Silver Spring)*, 14, 2000-2006.
- Pfeiffer, K. A., McIver, K. L., Dowda, M., Almeida, M. J., & Pate, R. R. (2006). Validation and calibration of the Actical accelerometer

- in preschool children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38, 152-157.
- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A., & Butte, N. F. (2002). Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obesity Research*, 10, 150-157.
- Puyau, M. R., Adolph, A. L., Vohra, F. A., Zakeri, I., & Butte, N. F. (2004). Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1625-1631.
- Reilly, J. J., Penpraze, V., Hislop, J., Davies, G., Grant, S., & Paton, J. Y. (2008). Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: review with new data. *Archives of Disease in Childhood*, 93, 614-619.
- Rowlands, A. V. (2007). Accelerometer assessment of physical activity in children: an update. *Pediatric Exercise Science*, 19, 252-266.
- Rowlands, A. V., Thomas, P. W., Eston, R. G., & Topping, R. (2004). Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 518-524.
- Strong, W. B., Malina, R. M., Blimkie, C. J., Daniels, S. R., Dishman, R. K., Gutin, B., et al. (2005). Evidence based physical activity for school-age youth. *Journal of Pediatrics*, 146, 732-737.
- Treuth, M. S., Schmitz, K., Catellier, D. J., McMurray, R. G., Murray, D. M., Almeida, M. J., et al. (2004). Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1259-1266.
- Trost, S. G., Loprinzi, P. D., Moore, R., & Pfeiffer, K. A. (2011). Comparison of Accelerometer Cut-points for Predicting Activity Intensity in Youth. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 1360-1368.
- Trost, S. G., McIver, K. L., & Pate, R. R. (2005). Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, S531-543.
- Vanhelst, J., Beghin, L., Rasoamanana, P., Theunynck, D., Meskini, T., Iliescu, C., et al. (2010). Calibration of the RT3 accelerometer for various patterns of physical activity in children and adolescents. *Journal of Sports Sciences*, 28, 381-387.
- Vanhelst, J., Beghin, L., Turck, D., & Gottrand, F. (2011). New validated thresholds for various intensities of physical activity

in adolescents using the Actigraph accelerometer. *International Journal of Rehabilitation Research*, 34, 175-177.

CAPÍTULO 6

6 CONCLUSÕES

O presente estudo foi um dos primeiros a: a) testar a validade de limiares para *counts* da versão uniaxial do acelerômetro ActiGraph em adolescentes e; b) derivar limiares para a versão triaxial do ActiGraph destinados à estimativa das atividades sedentárias e de intensidades leves, moderadas e vigorosas. Adicionalmente, limiares foram determinados para *counts* de outros dois modelos de acelerômetros comumente empregados em estudos com adolescentes e uma ampla revisão de literatura foi conduzida com o intuito de esclarecer o nível de validade e de generalidade de limiares de diferentes modelos de acelerômetros para a estimativa da intensidade da atividade física em crianças e adolescentes.

Por meio de uma revisão sistemática da literatura, pode-se verificar que limiares para *counts* de diferentes modelos de acelerômetros apresentam boa a moderada validade critério para distinguir as diferentes intensidades da atividade física em crianças e adolescentes. Por outro lado, informações quanto à generalidade (validade cruzada) destes limiares em amostras e atividades independentes ainda são escassas e indicam apenas pobre a moderada validade dos limiares de Sirard et al. para pré-escolares, e, boa a moderada validade dos limiares de Evenson et al. em crianças e adolescentes.

No que tange à validade dos cinco conjuntos de limiares do ActiGraph, foi constatado que aqueles propostos por Evenson et al. e Vanhelst et al. demonstraram melhor desempenho nas quatro intensidades da atividade física quando comparados aos limiares de Mattocks et al., Puyau et al. e Treuth et al. Em análises estratificadas por intensidade da atividade física, observou-se que limiares de 100-200, 2300 e 4000 *counts.min⁻¹* apresentaram melhor acurácia de classificação das atividades sedentárias, moderadas e vigorosas em relação a limiares de 400-800, 3200-3600 e 5200-8200 *counts.min⁻¹*, respectivamente. Assim, pautado em uma melhor estimativa das atividades sedentárias por meio do limiar de Evenson et al. (100 *counts.min⁻¹*) em relação àquele proposto por Vanhelst et al. (400 *counts.min⁻¹*), recomenda-se a adoção dos limiares de Evenson et al. para a estimativa da intensidade da atividade em adolescentes em estudos que utilizarem os modelos uniaxiais do acelerômetro ActiGraph.

Os limiares derivados para atividades sedentárias, moderadas a vigorosas e vigorosas foram de 46, 607 e 818 *counts.15s⁻¹* para o eixo vertical do ActiGraph, 180, 757 e 1112 *counts.15s⁻¹* para o vetor magnitude do ActiGraph, 17, 441 e 873 *counts.15s⁻¹* para o Actical e 5,6, 20,4 e 32,2 *counts.s⁻¹* para o RT3, respectivamente. Em termos gerais, os limiares derivados por os três modelos de acelerômetros apresentaram similar capacidade de distinção das diferentes intensidades da atividade física e não foi constatada a necessidade de derivação de limiares específicos ao sexo e ao grupo etário. Embora a falta de validação cruzada seja um fator limitante deste estudo, os limiares derivados para o eixo vertical do ActiGraph foram similares àqueles previamente validados na literatura em um protocolo de atividades diferentes daquelas adotadas no presente estudo. Considerando que acelerômetros não são suscetíveis a erros aleatórios vinculados aos avaliados e aos avaliadores, os limiares derivados para os três modelos de acelerômetros são recomendados para o monitoramento da atividade física habitual de adolescentes por meio da acelerometria.

REFERÊNCIAS

1. Andersen LB, Riddoch C, Kriemler S, Hills AP. Physical activity and cardiovascular risk factors in children. *Br J Sports Med.* 2011;45(11):871-6.
2. Biddle SJ, Asare M. Physical activity and mental health in children and adolescents: a review of reviews. *Br J Sports Med.* 2011;45(11):886-95.
3. Boreham CA, McKay HA. Physical activity in childhood and bone health. *Br J Sports Med.* 2011;45(11):877-9.
4. Gutin B, Owens S. The influence of physical activity on cardiometabolic biomarkers in youths: a review. *Pediatr Exerc Sci.* 2011;23(2):169-85.
5. Rowlands AV, Ingledeu DK, Eston RG. The effect of type of physical activity measure on the relationship between body fatness and habitual physical activity in children: a meta-analysis. *Ann Hum Biol.* 2000;27(5):479-97.
6. Wareham NJ, Rennie KL. The assessment of physical activity in individuals and populations: why try to be more precise about how physical activity is assessed? *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1998;22 Suppl 2:S30-8.
7. Warren JM, Ekelund U, Besson H, Mezzani A, Geladas N, Vanhees L. Assessment of physical activity - a review of methodologies with reference to epidemiological research: a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2010;17(2):127-39.
8. Bailey RC, Olson J, Pepper SL, Porszasz J, Barstow TJ, Cooper DM. The level and tempo of children's physical activities: an observational study. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(7):1033-41.
9. Baquet G, Stratton G, Van Praagh E, Berthoin S. Improving physical activity assessment in prepubertal children with high-

- frequency accelerometry monitoring: a methodological issue. *Prev Med.* 2007;44(2):143-7.
10. Corder K, Ekelund U, Steele RM, Wareham NJ, Brage S. Assessment of physical activity in youth. *J Appl Physiol.* 2008;105(3):977-87.
 11. Loprinzi PD, Cardinal BJ. Measuring children's physical activity and sedentary behaviors *J Exerc Sci Fit.* 2011;9(1):15-23.
 12. Oliver M, Schofield GM, Kolt GS. Physical activity in preschoolers: understanding prevalence and measurement issues. *Sports Med.* 2007;37(12):1045-70.
 13. Sirard JR, Pate RR. Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med.* 2001;31(6):439-54.
 14. Westerterp KR. Physical activity assessment with accelerometers in children. *Indian Pediatr.* 2009;46(12):1053-4.
 15. Salmon J, Booth ML, Phongsavan P, Murphy N, Timperio A. Promoting physical activity participation among children and adolescents. *Epidemiol Rev.* 2007;29:144-59.
 16. Trost SG. Measurement of Physical Activity in Children and Adolescents. *Am J Lifestyle Med.* 2007;1(4):299-314.
 17. Chinapaw MJ, Mokkink LB, van Poppel MN, van Mechelen W, Terwee CB. Physical activity questionnaires for youth: a systematic review of measurement properties. *Sports Med.* 2010;40(7):539-63.
 18. Corder K, van Sluijs EM, Wright A, Whincup P, Wareham NJ, Ekelund U. Is it possible to assess free-living physical activity and energy expenditure in young people by self-report? *Am J Clin Nutr.* 2009;89(3):862-70.
 19. Farias Junior JC, Lopes AS, Florindo AA, Hallal PC. Validade e reprodutibilidade dos instrumentos de medida da atividade

- física do tipo self-report em adolescentes: uma revisão sistemática. *Cad Saude Publica*. 2010;26(9):1669-91.
20. Pate RR, O'Neill JR, Lobelo F. The evolving definition of "sedentary". *Exerc Sport Sci Rev*. 2008;36(4):173-8.
 21. Ferrari P, Friedenreich C, Matthews CE. The role of measurement error in estimating levels of physical activity. *Am J Epidemiol*. 2007;166(7):832-40.
 22. Rowlands AV. Accelerometer assessment of physical activity in children: an update. *Pediatr Exerc Sci*. 2007;19(3):252-66.
 23. Chen KY, Bassett DR, Jr. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37 Suppl 11:S490-500.
 24. Matthew CE. Calibration of accelerometer output for adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37 Suppl 11:S512-22.
 25. Reilly JJ, Penpraze V, Hislop J, Davies G, Grant S, Paton JY. Objective measurement of physical activity and sedentary behaviour: Review with new data. *Arch Dis Child*. 2008;93(7):614-9.
 26. Ekelund U, Tomkinson G, Armstrong N. What proportion of youth are physically active? Measurement issues, levels and recent time trends. *Br J Sports Med*. 2011;45(11):859-65.
 27. Trost SG, McIver KL, Pate RR. Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37 Suppl 11:S531-43.
 28. Freedson P, Pober D, Janz KF. Calibration of accelerometer output for children. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37 Suppl 11:S523-30.
 29. De Vries SI, Van Hirtum HW, Bakker I, Hopman-Rock M, Hirasing RA, Van Mechelen W. Validity and reproducibility of motion sensors in youth: a systematic update. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(4):818-27.

30. Pate RR, Almeida MJ, McIver KL, Pfeiffer KA, Dowda M. Validation and calibration of an accelerometer in preschool children. *Obesity (Silver Spring)*. 2006;14(11):2000-6.
31. Reilly JJ, Coyle J, Kelly L, Burke G, Grant S, Paton JY. An objective method for measurement of sedentary behavior in 3- to 4-year olds. *Obes Res*. 2003;11(10):1155-8.
32. Sirard JR, Trost SG, Pfeiffer KA, Dowda M, Pate RR. Calibration and Evaluation of an Objective Measure of Physical Activity in Preschool Children. *J Phys Act Health*. 2005;2(3):345.
33. van Cauwenberghe E, Labarque V, Trost SG, de Bourdeaudhuij I, Cardon G. Calibration and comparison of accelerometer cut points in preschool children. *Int J Pediatr Obes*. 2011;6(2-2):e582-9.
34. Evenson KR, Catellier DJ, Gill K, Ondrak KS, McMurray RG. Calibration of two objective measures of physical activity for children. *J Sports Sci*. 2008;26(14):1557-65.
35. Mattocks C, Leary S, Ness A, Deere K, Saunders J, Tilling K, et al. Calibration of an accelerometer during free-living activities in children. *Int J Pediatr Obes*. 2007;2(4):218-26.
36. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Butte NF. Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obes Res*. 2002;10(3):150-7.
37. Treuth MS, Schmitz K, Catellier DJ, McMurray RG, Murray DM, Almeida MJ, et al. Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(7):1259-66.
38. Vanhelst J, Beghin L, Turck D, Gottrand F. New validated thresholds for various intensities of physical activity in adolescents using the Actigraph accelerometer. *Int J Rehabil Res*. 2011;34(2):175-7.

39. Parikh T, Stratton G. Influence of intensity of physical activity on adiposity and cardiorespiratory fitness in 5-18 year olds. *Sports Med.* 2011;41(6):477-88.
40. Cliff DP, Okely AD. Comparison of two sets of accelerometer cut-off points for calculating moderate-to-vigorous physical activity in young children. *J Phys Act Health.* 2007;4(4):509-13.
41. Guinhouya CB, Lemdani M, Vilhelm C, Durocher A, Hubert H. Actigraph-defined moderate-to-vigorous physical activity cut-off points among children: statistical and biobehavioural relevance. *Acta Paediatr.* 2009;98(4):708-14.
42. Guinhouya CB, Hubert H, Soubrier S, Vilhelm C, Lemdani M, Durocher A. Moderate-to-vigorous physical activity among children: discrepancies in accelerometry-based cut-off points. *Obesity (Silver Spring).* 2006;14(5):774-7.
43. McClain JJ, Abraham TL, Brusseau TA, Tudor-Locke C. Epoch length and accelerometer outputs in children: Comparison to direct observation. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(12):2080-7.
44. Mota J, Valente M, Aires L, Silva P, Paula Santos M, Ribeiro JC. Accelerometer cut-points and youth physical activity prevalence. *Eur Phys Educ Rev.* 2007;13(3):287-99.
45. Nader PR, Bradley RH, Houts RM, McRitchie SL, O'Brien M. Moderate-to-vigorous physical activity from ages 9 to 15 years. *JAMA.* 2008;300(3):295-305.
46. Owen CG, Nightingale CM, Rudnicka AR, Cook DG, Ekelund U, Whincup PH. Ethnic and gender differences in physical activity levels among 9-10-year-old children of white European, South Asian and African-Caribbean origin: the Child Heart Health Study in England (CHASE Study). *Int J Epidemiol.* 2009;38(4):1082-93.
47. Riddoch CJ, Mattocks C, Deere K, Saunders J, Kirkby J, Tilling K, et al. Objective measurement of levels and patterns of physical activity. *Arch Dis Child.* 2007;92(11):963-9.

48. Riddoch CJ, Bo Andersen L, Wedderkopp N, Harro M, Klasson-Heggebo L, Sardinha LB, et al. Physical activity levels and patterns of 9- and 15-yr-old European children. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(1):86-92.
49. Steele RM, van Sluijs EM, Cassidy A, Griffin SJ, Ekelund U. Targeting sedentary time or moderate- and vigorous-intensity activity: independent relations with adiposity in a population-based sample of 10-y-old British children. *Am J Clin Nutr.* 2009;90(5):1185-92.
50. Troiano RP, Berrigan D, Dodd KW, Masse LC, Tilert T, McDowell M. Physical Activity in the United States Measured by Accelerometer. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(1):181-8.
51. Trost SG, Loprinzi PD, Moore R, Pfeiffer KA. Comparison of accelerometer cut points for predicting activity intensity in youth. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(7):1360-8.
52. Sasaki JE, John D, Freedson PS. Validation and comparison of ActiGraph activity monitors. *J Sci Med Sport.* 2011;14(5):411-6.
53. Colley RC, Tremblay MS. Moderate and vigorous physical activity intensity cut-points for the Actical accelerometer. *J Sports Sci.* 2011;29(8):783-9.
54. Puyau MR, Adolph AL, Vohra FA, Zakeri I, Butte NF. Prediction of Activity Energy Expenditure Using Accelerometers in Children. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(9):1625-31.
55. Chu EYW, McManus AM, Yu CCW. Calibration of the RT3 Accelerometer for Ambulation and Nonambulation in Children. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(11):2085-91.
56. Kavouras SA, Sarras SE, Tsekouras YE, Sidossis LS. Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *J Sports Sci.* 2008;26(9):959-66.

57. Rowlands AV, Thomas PWM, Eston RG, Topping R. Validation of the RT3 Triaxial Accelerometer for the Assessment of Physical Activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(3):518-24.
58. Vanhelst J, Beghin L, Rasoamanana P, Theunynck D, Meskini T, Ilescu C, et al. Calibration of the RT3 accelerometer for various patterns of physical activity in children and adolescents. *J Sports Sci.* 2010;28(4):381-7.
59. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep.* 1985;100(2):126-31.
60. McClain JJ, Tudor-Locke C. Objective monitoring of physical activity in children: considerations for instrument selection. *J Sci Med Sport.* 2009;12(5):526-33.
61. Tremblay MS, Leblanc AG, Janssen I, Kho ME, Hicks A, Murumets K, et al. Canadian sedentary behaviour guidelines for children and youth. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011;36(1):59-64.
62. Pate RR, Pratt M, Blair SN, Haskell WL, Macera CA, Bouchard C, et al. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA.* 1995;273(5):402-7.
63. Cliff DP, Reilly JJ, Okely AD. Methodological considerations in using accelerometers to assess habitual physical activity in children aged 0-5 years. *J Sci Med Sport.* 2009;12(5):557-67.
64. Rowlands AV, Eston RG. The measurement and interpretation of children's physical activity. *J Sports Sci Med.* 2007;6(3):270-6.
65. De Bock F, Menze J, Becker S, Litaker D, Fischer J, Seidel I. Combining accelerometry and HR for assessing preschoolers' physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(12):2237-43.

66. Corder K, Brage S, Wareham NJ, Ekelund U. Comparison of PAEE from combined and separate heart rate and movement models in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(10):1761-7.
67. Corder K, Brage S, Mattocks C, Ness A, Riddoch C, Wareham NJ, et al. Comparison of two methods to assess PAEE during six activities in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(12):2180-8.
68. Dorminy CA, Choi L, Akohoue SA, Chen KY, Buchowski MS. Validity of a multisensor armband in estimating 24-h energy expenditure in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(4):699-706.
69. ActiGraph. GT3X Activity Monitor. Pensacola: [acesso em 2010 May 12]. Disponível em: <http://www.theactigraph.com/products/gt3x/>
70. Heil DP. Predicting activity energy expenditure using the Actical activity monitor. *Res Q Exerc Sport.* 2006;77(1):64-80.
71. Pate RR, O'Neill JR, Mitchell J. Measurement of physical activity in preschool children. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(3):508-12.
72. Krasnoff JB, Kohn MA, Choy FK, Doyle J, Johansen K, Painter PL. Interunit and intraunit reliability of the RT3 triaxial accelerometer. *J Phys Act Health.* 2008;5(4):527-38.
73. Welk GJ. Principles of design and analyses for the calibration of accelerometry-based activity monitors. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37 Suppl 11:S501-11.
74. Silva P, Mota J, Esliger D, Welk G. Technical Reliability Assessment of the Actigraph GT1M Accelerometer. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 2010;14(2):79-91.
75. Esliger DW, Tremblay MS. Technical reliability assessment of three accelerometer models in a mechanical setup. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(12):2173-81.

76. Kozub FM, Oh H-K, Rider RA. RT3 Accelerometer Accuracy in Estimating Short Term Physical Activity in Individuals With Visual Impairments. *Adapt Phys Activ Q.* 2005;22(3):265.
77. Garcia AW, Langenthal CR, Angulo-Barroso RM, Gross MM. A Comparison of Accelerometers for Predicting Energy Expenditure and Vertical Ground Reaction Force in School-Age Children. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 2004;8(3):119-44.
78. Chu BB, Lawson D, Naughton G. Validation of the Computer Science and Applications (CSA) activity monitor as an objective measure of activity energy expenditure in Vietnamese adolescents. *Pediatr Exerc Sci.* 2003;15(1):56-66.
79. Metcalf BS, Curnow JS, Evans C, Voss LD, Wilkin TJ. Technical reliability of the CSA activity monitor: The EarlyBird Study. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(9):1533-7.
80. Fairweather SC, Reilly JJ, Grant S, Whittaker A, Paton JY. Using the Computer Science and Applications (CSA) activity monitor in preschool children. *Pediatr Exerc Sci.* 1999;11(4):413-20.
81. Trost SG, Ward DS, Moorehead SM, Watson PD, Riner W, Burke JR. Validity of the computer science and applications (CSA) activity monitor in children. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(4):629-33.
82. Bray MS, Morrow JR, Pivarnik JM, Bricker JT. Caltrac validity for estimating caloric expenditure with children. *Pediatr Exerc Sci.* 1992;4(2):166-79.
83. Bray MS, Wong WW, Morrow JR, Jr., Butte NF, Pivarnik JM. Caltrac versus calorimeter determination of 24-h energy expenditure in female children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(12):1524-30.
84. Coe D, Pivarnik JM. Validation of the CSA accelerometer in adolescent boys during basketball practice. *Pediatr Exerc Sci.* 2001;13(4):373-9.

85. Ekelund U, Sjostrom M, Yngve A, Poortvliet E, Nilsson A, Froberg K, et al. Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(2):275-81.
86. Hands B, Larkin D. Physical Activity Measurement Methods for Young Children: A Comparative Study. *Meas Phys Educ Exerc Sci.* 2006;10(3):203-14.
87. Hoos MB, Plasqui G, Gerver WJ, Westerterp KR. Physical activity level measured by doubly labeled water and accelerometry in children. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89(6):624-6.
88. Janz KF. Validation of the CSA accelerometer for assessing children's physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(3):369-75.
89. Kelly LA, Reilly JJ, Fairweather SC, Barrie S, Grant S, Paton JY. Comparison of two Accelerometers for Assessment of Physical Activity in Preschool Children. *Pediatr Exerc Sci.* 2004;16(4):324-33.
90. Klesges LM, Klesges RC. The assessment of children's physical activity: a comparison of methods. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19(5):511-7.
91. Klesges RC, Klesges LM, Swenson AM, Pheley AM. A validation of two motion sensors in the prediction of child and adult physical activity levels. *Am J Epidemiol.* 1985;122(3):400-10.
92. Maliszewski AF, Freedson PS, Ebbeling CJ, Crusemeyer J, Kastango KB. Validity of the Caltrac Accelerometer in Estimating Energy Expenditure and Activity in Children and Adults. *Pediatr Exerc Sci.* 1991;3(2):141-51.
93. Ott AE, Pate RR, Trost SG, Ward DS, Saunders R. The use of uniaxial and triaxial accelerometers to measure children's "free-play" physical activity. *Pediatr Exerc Sci.* 2000;12(4):360-70.

94. Ramirez-Marrero FA, Smith BA, Sherman WM, Kirby TE. Comparison of methods to estimate physical activity and energy expenditure in African American children. *Int J Sports Med*. 2005;26(5):363-71.
95. Sallis JF, Buono MJ, Roby JJ, Carlson D, Nelson JA. The Caltrac accelerometer as a physical activity monitor for school-age children. *Med Sci Sports Exerc*. 1990;22(5):698-703.
96. Simons-Morton BG, Taylor WC, Huang IW. Validity of the physical activity interview and Caltrac with preadolescent children. *Res Q Exerc Sport*. 1994;65(1):84-8.
97. Welk GJ, Corbin CB. The validity of the Tritrac-R3D Activity Monitor for the assessment of physical activity in children. *Res Q Exerc Sport*. 1995;66(3):202-9.
98. Eston RG, Rowlands AV, Ingledew DK. Validity of heart rate, pedometry, and accelerometry for predicting the energy cost of children's activities. *J Appl Physiol*. 1998;84(1):362-71.
99. Schmitz KH, Treuth M, Hannan P, McMurray R, Ring KB, Catellier D, et al. Predicting energy expenditure from accelerometry counts in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37(1):155-61.
100. Choi L, Chen KY, Acra SA, Buchowski MS. Distributed lag and spline modeling for predicting energy expenditure from accelerometry in youth. *J Appl Physiol*. 2010;108(2):314-27.
101. Freedson PS, Sirard J, Debold E, Pate R, Dowda M, Trost S, et al. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. (Csa) Accelerometer 256. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(5):45.
102. Crouter SE, Clowers KG, Bassett DR, Jr. A novel method for using accelerometer data to predict energy expenditure. *J Appl Physiol*. 2006;100(4):1324-31.
103. Pfeiffer KA, McIver KL, Dowda M, Almeida MJCA, Pate RR. Validation and Calibration of the Actical Accelerometer in Preschool Children. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(1):152-7.

104. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32 Suppl 9:S498-504.
105. Sun DX, Schmidt G, Teo-Koh SM. Validation of the RT3 Accelerometer for Measuring Physical Activity of Children in Simulated Free-Living Conditions. *Pediatr Exerc Sci.* 2008;20(2):181-97.
106. Zakeri IF, Adolph AL, Puyau MR, Vohra FA, Butte NF. Multivariate adaptive regression splines models for the prediction of energy expenditure in children and adolescents. *J Appl Physiol.* 2010;108(1):128-36.
107. Arvidsson D, Slinde F, HulthÃ©n L. Free-living energy expenditure in children using multi-sensor activity monitors. *Clin Nutr.* 2009;28(3):305-12.
108. Carter J, Wilkinson D, Blacker S, Rayson M, Bilzon J, Izzard R, et al. An investigation of a novel three-dimensional activity monitor to predict free-living energy expenditure. *J Sports Sci.* 2008;26(6):553-61.
109. Zakeri I, Adolph AL, Puyau MR, Vohra FA, Butte NF. Application of cross-sectional time series modeling for the prediction of energy expenditure from heart rate and accelerometry. *J Appl Physiol.* 2008;104(6):1665-73.
110. McMurray RG, Harrell JS, Baggett CD, Bangdiwala SI, Pennell ML. Feasibility of the Tritrac accelerometer to estimate energy expenditure of youth. *Pediatr Exerc Sci.* 2003;16(3):219-30.
111. Tanaka C, Tanaka S, Kawahara J, Midorikawa T. Triaxial Accelerometry for Assessment of Physical Activity in Young Children. *Obesity (Silver Spring).* 2007;15(5):1233-41.
112. Welk GJ, Eisenmann JC, Schaben J, Trost SG, Dale D. Calibration of the Biotrainer Pro Activity Monitor in Children. *Pediatr Exerc Sci.* 2007;19(2):145-58.

113. Ekelund U, Yngve A, Brage S, Westerterp K, Sjoström M. Body movement and physical activity energy expenditure in children and adolescents: how to adjust for differences in body size and age. *Am J Clin Nutr.* 2004;79(5):851-6.
114. Brage S, Wedderkopp N, Andersen LB, Froberg K. Influence of step frequency on movement intensity predictions with the CSA accelerometer: a field validation study in children. *Pediatr Exerc Sci.* 2003;15(3):277-87.
115. Stone MR, Esliger DW, Tremblay MS. Comparative Validity Assessment of Five Activity Monitors: Does Being a Child Matter? *Pediatr Exerc Sci.* 2007;19(3):291-309.
116. Harrell JS, McMurray RG, Baggett CD, Pennell ML, Pearce PF, Bangdiwala SI. Energy costs of physical activities in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(2):329-36.
117. Sarriera JC, Tatim DC, Coelho RPS, Bucker J. Uso do tempo livre por adolescentes de classe popular. *Psicol Reflex Crit.* 2007;20:361-7.
118. Hallal PC, Bertoldi AD, Goncalves H, Victora CG. Prevalência de sedentarismo e fatores associados em adolescentes de 10-12 anos de idade. *Cad Saude Publica.* 2006;22(6):1277-87.
119. Silva RC, Malina RM. Nível de atividade física em adolescentes do Município de Niterói, Rio de Janeiro, Brasil. *Cad Saude Publica.* 2000;16(4):1091-7.
120. Vale S, Santos R, Silva P, Soares-Miranda Ls, Mota J. Preschool Children Physical Activity Measurement: Importance of Epoch Length Choice. *Pediatr Exerc Sci.* 2009;21(4):413-20.
121. Dorsey K, Herrin J, Krumholz H, Irwin M. The utility of shorter epochs in direct motion monitoring. *Res Q Exerc Sport.* 2009;80(3):460-8.

122. Edwardson CL, Gorely T. Epoch length and its effect on physical activity intensity. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42(5):928-34.
123. Nilsson A, Ekelund U, Yngve A, Sjostrom M. Assessing physical activity among children with accelerometers using different time sampling intervals and placements. *Pediatr Exerc Sci.* 2002;14(1):87-96.
124. Rowlands AV, Powell SM, Humphries R, Eston RG. The effect of accelerometer epoch on physical activity output measures. *J Exerc Sci Fit.* 2006;4(1):52-8.
125. Ridley K, Olds TS. Assigning energy costs to activities in children: a review and synthesis. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(8):1439-46.
126. de Graauw SM, de Groot JF, van Brussel M, Streur MF, Takken T. Review of prediction models to estimate activity-related energy expenditure in children and adolescents. *Int J Pediatr.* 2010:489304.
127. Jago R, Zakeri I, Baranowski T, Watson K. Decision boundaries and receiver operating characteristic curves: new methods for determining accelerometer cutpoints. *J Sports Sci.* 2007;25(8):937-44.
128. Pober DM, Staudenmayer J, Raphael C, Freedson PS. Development of novel techniques to classify physical activity mode using accelerometers. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(9):1626-34.
129. Rothney MP, Neumann M, Beziat A, Chen KY. An artificial neural network model of energy expenditure using nonintegrated acceleration signals. *J Appl Physiol.* 2007;103(4):1419-27.

ANEXOS

Anexo 1
Certidão do comitê de ética

22/02/2011

Certificado



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão
Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos

CERTIFICADO Nº 445

O Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Santa Catarina, instituído pela PORTARIA N.º 0584/GR.99 de 04 de novembro de 1999, com base nas normas para a constituição e funcionamento do CEPSH, considerando o contido no Regimento Interno do CEPSH, **CERTIFICA** que os procedimentos que envolvem seres humanos no projeto de pesquisa abaixo especificado estão de acordo com os princípios éticos estabelecidos pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa – CONEP.

PROCESSO: 445

FR: 300980

TÍTULO: Estimativa do gasto energético e determinação da intensidade da atividade física em adolescentes: um estudo de calibração de acelerômetros

AUTOR: Edio Luiz Petroski, Marcelo Romanzini, Felipe Fossati Reichert

FLORIANÓPOLIS, 22 de Fevereiro de 2010 .

Coordenador do CEPSH/UFSC

Anexo 2
Termo de consentimento livre e esclarecido



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE DESPORTOS
Coordenadoria de Pós-Graduação em Educação Física
Campus Universitário – Trindade – Florianópolis – SC – CEP 88040-900
Fone: (048) 331-9926 – Fax: (048) 331-9792 – e-mail: mestrado@cds.ufsc.br



Londrina, dia de mês de ano.

Senhores Pais e/ou Responsáveis

Estamos realizando uma pesquisa intitulada **“Estimativa do gasto energético e determinação da intensidade da atividade física em adolescentes: um estudo de calibração de acelerômetros”**. Esta pesquisa tem por objetivo verificar se os acelerômetros (aparelho portátil fixado na cintura) são instrumentos apropriados para medir a atividade física realizada por adolescentes.

Dessa forma, solicitamos aos senhores pais que assinem este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, autorizando seu filho (a) a participar desta pesquisa, que constará da realização de dez tipos diferentes de atividades físicas (assistir TV, escrever, jogar videogame, em pé relaxado, caminhada lenta e moderada, jogo de queimada, voleibol, corrida, basquetebol, futebol e pular corda), as quais serão realizadas nas dependências do Centro de Educação Física da Universidade Estadual de Londrina.

Durante as atividades, a quantidade de movimentos realizados pelo seu filho será registrada por meio de quatro acelerômetros fixados na cintura, e, a quantidade de ar inspirado e expirado será analisada por um dispositivo no formato de bocal fixado na face do adolescente. Informamos que estes procedimentos são totalmente seguros e não representam risco a integridade física e psicológica do seu filho.

Faz-se necessário esclarecer que será mantido o sigilo e a privacidade de identidade dos participantes, bem como de seus pais e/ou responsáveis, mediante a assinatura do presente Termo (abaixo) e ressaltar que o seu filho terá a liberdade de se recusar a participar da pesquisa ou retirar seu Consentimento, sem qualquer tipo de penalização escolar. Além disso, informo que esta pesquisa não possui qualquer vínculo com o estabelecimento escolar em que teu filho se encontra matriculado.

Certo de contar com sua colaboração para a concretização desta investigação, agradecemos antecipadamente a atenção dispensada e colocamo-nos à sua disposição para quaisquer esclarecimentos (mromanzeni@hotmail.com ou fone: (43) 3357-3777 / 9959-2420).

Prof. Marcelo Romanzini (Pesquisador principal)

AUTORIZAÇÃO

Autorizo meu filho(a) a participar da pesquisa **“Estimativa do gasto energético e determinação da intensidade da atividade física em adolescentes: um estudo de calibração de acelerômetros”**, estando ciente dos procedimentos, objetivos e importância da realização desta.

Londrina, dia de mês de ano.

Assinatura dos pais e/ou responsáveis

OBS.: Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido possui 2 (duas) vias: 1 (uma) via entregue ao participante da pesquisa e 1 (uma) via fica sob a guarda do pesquisador principal.