

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA BIOMÉDICA**

LUCAS MENGHIN BERALDO

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESTIMATIVA DA GORDURA  
CORPORAL BASEADA EM DENSITOMETRIA RADIOLÓGICA**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA  
2017

LUCAS MENGHIN BERALDO

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA ESTIMATIVA DA GORDURA  
CORPORAL BASEADA EM DENSITOMETRIA RADIOLÓGICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Orientadora: Dra. Leandra Ulbricht.  
Co-orientador: Dr. Inácio Andruski Guimarães.

CURITIBA  
2017

---

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**

---

B482m Beraldo, Lucas Menghin  
2017 Modelagem matemática para estimativa da gordura corporal baseada em densitometria radiológica / Lucas Menghin Beraldo.-- 2017.  
72 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.  
Texto em português, com resumo em inglês.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, Curitiba, 2017.  
Bibliografia: f. 58-72.

1. Densitometria. 2. Obesidade em crianças. 3. Obesidade em adolescentes. 4. Composição corporal - Avaliação. 5. Pregas cutâneas - Medição. 6. Modelos matemáticos. 7. Análise de regressão. 8. Engenharia biomédica - Dissertações. I. Ulbricht, Leandra, orient. II. Guimarães, Inácio Andruski, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Biomédica. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 610.28

---

**Biblioteca Central do Câmpus Curitiba - UTFPR**

**“Modelagem matemática para estimativa da  
gordura corporal baseada em densitometria  
radiológica”.**

por

**Lucas Menghin Beraldo**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Biomédica.

LINHA DE PESQUISA: Engenharia Clínica e Gestão.

Esta dissertação foi apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de **MESTRE EM ENGENHARIA BIOMÉDICA (M.Sc.)** – Área de Concentração: Engenharia Biomédica, pelo **Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica (PPGEB)**, – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (**UTFPR**), *Campus Curitiba*, às **14h30min** do dia **07 de abril de 2017**. O trabalho foi aprovado pela Banca Examinadora, composta pelos professores:

---

Prof<sup>ª</sup>. Leandra Ulbricht, Dr<sup>ª</sup>.  
(Presidente – UTFPR)

---

Prof. Antônio Renato Pereira Moro, Dr.  
(UFSC)

---

Prof. João Antonio Palma Setti, Dr.  
(UTFPR)

Visto da coordenação:

---

Prof<sup>ª</sup>. Leandra Ulbricht, Dr<sup>ª</sup>.  
(Coordenadora do PPGEB)



## AGRADECIMENTOS

A todos os gigantes que construíram a ciência ao longo dos anos para que eu pudesse subir em seus ombros e enxergar um pouco mais longe. Àqueles que despertaram o meu interesse pelo conhecimento e pela pesquisa lá na infância: meus primeiros professores que souberam lidar com a minha vontade, muitas vezes exagerada, de aprender; os meus pais, que compreendiam os meus pedidos mais estranhos de presentes e me davam os livros que eu tanto queria; e pessoas que se dedicavam a levar a ciência a crianças como os que fizeram parte do Mundo de Beakman, X-Tudo e Castelo Rá-tim-bum.

Aos bons professores que cruzaram meu caminho durante a graduação: Adriana; Bruno; Arílson; Oslei; Daniela; e Benito. Ao Laboratório de Ergonomia e a todos que fizeram parte desta equipe, que participaram da minha pesquisa, que tiveram minha ajuda em suas pesquisas ou que compartilharam o ambiente comigo e proporcionaram ótimas conversas e discussões.

Ao Wagner, parceiro em tantas pesquisas desde a minha primeira iniciação científica até esta dissertação. Ao Jhomyr, grande amigo, foi muito bom passar por esse caminho da graduação e do mestrado ao teu lado, dividindo as frustrações, incentivando o crescimento, agregando na pesquisa, debatendo e construindo. Ao Leandro, membro secreto. À Mariane, orientanda e amiga, que muito me ajudou na pesquisa, muito me diverti nas conversas e que sentiu o árduo caminho que é fazer iniciação científica, para ela dedico não só um "obrigado", mas também um "desculpas".

A Leandra, sou muito grato por tudo que você me ensinou e por ter me acolhido, exigido, confiado e estimulado. Agradeço pelo esforço que você sempre teve para viabilizar os projetos dos alunos nos oferecendo autonomia e permitindo a criatividade. Hoje, me impressiono pelo tempo que você se manteve como minha orientadora e pela boa relação que temos, uma vez que somos tão diferentes, exceto pela teimosia, que é gigante em ambos.

À minha família, todas as barras que passei e todas que eu causei foram menos pesadas com ela do meu lado. Não há palavras no mundo capaz de expressar o apoio que sempre tive de meus familiares e o quanto eles foram importantes nesta trajetória.

No meio desta maravilhosa família que eu tive sorte de fazer parte eu destaco algumas pessoas. Meus avós, Mem e Balla, que me aconselharam nos momentos de incerteza, me ouviram nos desabafos catárticos, me ofereceram carinho e refúgio nos momentos difíceis, me proporcionaram conversas e discussões infundáveis. A minha mãe, Cynthia, só ela sabe o trabalho que eu dei e continuo dando para quem eu dedico um gigantesco MUITO OBRIGADO. É incrível como em tantos momentos do meu cotidiano eu sou ela. Desde meu jeito de lidar com as pessoas, de conversar, de colocar posições, minha atitude docente, minhas reflexões de mundo... A convivência contribui para cimentar essas similaridades, mas a origem dela é a admiração enorme que tenho por essa mulher. Espero um dia poder ser um exemplo tão admirável a alguém como ela é para mim. Agradeço aos meus avós, Jair e Malu, que ofereceram a mão em um momento tão difícil que me permitiu seguir essa carreira acadêmica e concluir esse mestrado. E a minha noiva, Anne, que sempre compreendeu os meus momentos de ausência dedicados à pesquisa, me deu forças nos momentos de cansaços e me amou durante esses anos.

*"Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado"*  
*Gandalf em Senhor dos Anéis*  
*J.R.R Tolkien*

## RESUMO

BERALDO, Lucas M. **Modelagem matemática para estimativa da gordura corporal baseada em densitometria radiológica**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2017.

O excesso de gordura corporal está associado a diversas doenças de ordem metabólica, psicológica e estrutural. É indicado que a adolescência é o período crítico para o desenvolvimento de hábitos associados ao acúmulo de gordura como a inatividade física, má alimentação e sedentarismo. Desta forma, esta é uma fase crítica para o monitoramento da população visando a redução de casos de obesidade e doenças associadas. A técnica padrão-ouro para avaliação da gordura corporal é a absorciometria de raios-X de dupla-energia. Porém seu caráter laboratorial impede o uso amplo. Desta forma, técnicas mais simples, como a medição de dobras cutâneas devem ser modeladas a partir de técnicas mais exatas para este monitoramento. Os modelos existentes foram desenvolvidos com populações estrangeiras que não se assemelham aos habitantes da Região Metropolitana de Curitiba o que pode levar a erros de avaliação e diagnóstico. Desta forma o objetivo deste estudo é produzir um modelo de análise da gordura corporal apropriado a crianças e adolescentes da Região Metropolitana de Curitiba. Foram selecionadas duas amostras, uma composta por 567 adolescentes hígidos com idade entre 10 e 18 anos; e outra composta por 63 crianças com paralisia cerebral entre 3 e 10 anos. Os dois grupos possuíam indivíduos de ambos os sexos. Foram coletados dados de massa, estatura, idade e espessura de dobras cutâneas, além da avaliação de composição corporal por densitometria radiológica. O percentual de gordura obtido por diferentes equações de dobras cutâneas e demais medidas antropométricas entre os adolescentes foi comparado com o obtido por densitometria indicando associações abaixo do indicado ( $CCC < 0,900$ ). Foi encontrada também uma tendência de subestimação pelas dobras cutâneas, o que resultava em elevados valores de especificidade e baixos de sensibilidade (sendo especificidade a quantidade relativa de verdadeiros negativos entre quem não possui a condição clínica, e a sensibilidade a relação de verdadeiros positivos entre quem possui a condição considerada). Isto indica uma grande quantidade de falsos negativos o que leva muitos adolescentes com excesso de gordura a serem classificados como eutróficos. O modelo classificatório desenvolvido para adolescentes obteve um ajuste de  $R^2_{Negelkerke} = 0,829$ , sensibilidade de 99,0% e especificidade de 82,7% apresentando indicadores diagnósticos acima do obtido por equações de dobras cutâneas e IMC. Para as crianças com paralisia cerebral foi desenvolvido um modelo estimativo da massa de gordura com ajuste de  $R^2 = 0,950$  com erro padrão de estimativa de 1,039. As equações utilizadas para converter as dobras cutâneas em medições da gordura corporal demonstraram-se inadequadas para aplicação em adolescentes da região metropolitana de Curitiba. A aplicação de técnicas de regressão logística e linear apresentou resultados positivos, mesmo a partir da modelagem na amostra de crianças com paralisia cerebral.

**Palavras-chave:** Excesso de gordura, obesidade, modelagem matemática.

## ABSTRACT

BERALDO, Lucas M. **Mathematical modeling for estimation of body fat based on radiological densitometry**. 2017. 57 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 2017.

The overfat is associated with many metabolic, psychological and structural diseases. The adolescence is indicated as the critical period for the development of habits associated with fat accumulation like physical inactivity, poor diet and sedentarism. Thus, this is an important moment to monitor the population aiming the reduction of obesity and associated disease. The golden standard to evaluate the body fatness is the dual-energy x-ray absorptiometry. However, its laboratorial aspect prevents a wide use. This way, simpler techniques as the skinfold measurement should be model from more exact techniques for this monitoring. The existing models were developed with foreign populations that don't resemble the Curitiba Metropolitan Region inhabitants. This could lead to evaluation and diagnostic errors. Thus, the aim of this study is to produce a model of body fatness analysis appropriate to children and adolescents from the Curitiba Metropolitan Region. Two samples were selected, the first one composed by 567 healthy adolescents aged between 10 and 18 years; the other one composed by 63 children with cerebral palsy between 3 and 10 years. The groups have both genders. The data of weight, height, age and skinfold thickness were collected, beyond the body composition evaluation by radiologic densitometry. The fatness percentage obtained by different skinfold and other anthropometric measures equations among the adolescents was compared with the obtained by densitometry presenting associations below indicated ( $CCC < 0,900$ ). A tendency of underestimation by the skinfold equations was found, that resulted in higher specificity values and low sensitivity (being specificity the relative quantity of true negatives among those who do not have the clinical condition, and the sensitivity the relations of true positives among those who have the considered condition). This indicates a major quantity of false negatives, that leads many overfat adolescents to be classified as eutrophic. The developed classificatory model for adolescents obtained an adjustment of  $R^2_{\text{Nagelkerke}} = 0,829$ , sensitivity of 99,0% and specificity of 82,7% presenting diagnostic's indicators above that obtained by skinfold equations and BMI. For the children with cerebral palsy was developed a fat mass estimation model with adjustment of  $R^2 = 0,950$  and standard error of estimation of 1,039. The equations used to convert the skinfold in body fatness measures were found to be inadequate for application in adolescents from Curitiba Metropolitan Region. The application of logistic and linear regression techniques have presented positive results, even from modeling in the children with cerebral palsy sample.

**Keywords:** Overfat, obesity, mathematical modeling.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
1.1	JUSTIFICATIVA .....	13
1.2	HIPÓTESE .....	18
1.3	OBJETIVOS .....	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos .....	18
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	18
2	METODOLOGIA .....	21
2.1	TIPO DE PESQUISA.....	21
2.2	AMOSTRA DE ADOLESCENTES HÍGIDOS .....	21
2.2.1	Instrumentos e Procedimentos .....	22
2.3	AMOSTRA DE CRIANÇAS COM PARALISIA CEREBRAL .....	24
2.3.1	Instrumentos e Procedimentos .....	25
2.4	ANÁLISE DE DADOS .....	26
2.4.1	Pressupostos para a inferência estatística .....	26
2.4.2	Análise inferencial.....	26
2.4.3	Construção dos modelos para estimativa da gordura corporal.....	28
3	RESULTADOS.....	32
4	CONCLUSÃO .....	56
	REFERÊNCIAS.....	58

## 1 INTRODUÇÃO

A gordura exerce papel importante no organismo como, por exemplo, na formação de hormônios, manutenção térmica, proteção mecânica do corpo e reserva energética. Porém, quantidades elevadas de gordura levam a uma série de desordens que abrangem aspectos metabólicos e estruturais do corpo e ainda podem gerar efeitos sociais e psicológicos. O acúmulo excessivo de gordura corporal é definido como obesidade, sendo o excesso de gordura a condição pré-clínica (LOFT; FORSS; MANDRUP, 2016; MINGHELLI et al., 2011; RIZZO et al., 2013; STURLA et al., 2017).

Compreendendo a necessidade da avaliação da condição do indivíduo dentro do contexto da obesidade, uma série de técnicas vem sendo aplicadas. As mais simples são as medidas antropométricas associadas a gordura corporal como: IMC; circunferência da cintura; e relação cintura-estatura (ANDREOLI et al., 2016; GUEDES, 2013; MARRODAN et al., 2014).

Estas técnicas, porém, são incapazes de discriminar a gordura ou qualquer outro componente do organismo. Assim, não devem ser encaradas como técnicas de análise da composição corporal, mas sim como índices que podem estar associados a condição de obesidade ou com a quantidade de gordura. As medições da quantidade de gordura corporal tendem a ser mais exatas na avaliação da obesidade e os seus métodos dividem-se em três tipos: os diretos, os indiretos e os duplamente-indiretos (COSTA, 2001; GUEDES, 2013).

Os métodos diretos não são aplicáveis *in vivo* pois baseiam-se na extração da gordura corporal por métodos químicos ou físicos. Assim, a massa do corpo é medida antes e após a extração, sendo a diferença a massa de gordura. Embora inaplicável na população, os estudos em cadáveres por métodos diretos informam sobre as características dos diferentes tecidos corporais, em especial a densidade. Conhecendo este valor é possível determinar a quantidade absoluta ou relativa de gordura através de técnicas densitométricas. Porém, a interrupção da atividade metabólica e a rigidez muscular interferem na avaliação da densidade em cadáveres, sendo os valores padronizados destes estudos inexatos. Ainda o tamanho amostral destes estudos é pequeno e os indivíduos apresentam idades adulta, por isso a densidade dos tecidos muscular e adiposo para adolescentes

ainda não está bem estabelecida (COSTA, 2001; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Considerando a inaplicabilidade dos métodos diretos, as técnicas mais exatas de avaliação da gordura *in vivo* são os métodos indiretos. Estes baseiam-se na medição de variáveis que estão relacionadas com a gordura, geralmente a densidade. Os métodos indiretos mais utilizados são a pesagem hidrostática, a pletismografia por deslocamento de ar (ADP) e a absorciometria de raios-X de dupla-energia (DXA) (COSTA, 2001; FOSBØL; ZERAHN, 2015; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

A pesagem hidrostática consiste na submersão completa do indivíduo em um corpo d'água e na medição do volume de água deslocado ou da pesagem do corpo submerso para posterior cálculo da densidade corporal. Esta avaliação deve ocorrer com o indivíduo imóvel e em apneia após expiração máxima forçada, o que exige que o avaliado apresente certa familiaridade com o ambiente aquático (ELLIS, 2000; GUEDES, 2013).

Para a medição por ADP o indivíduo é colocado em uma câmara fechada e o ar deslocado pela inserção do corpo é medido, correspondendo ao volume do avaliado. Com a aquisição da Massa Corporal Total (MCT) é possível calcular a densidade corporal. Embora esta avaliação exija que o indivíduo esteja imóvel por alguns minutos ela é mais acessível que a pesagem hidrostática por não ocorrer com o avaliado submerso (DEMERATH et al., 2017; ELLIS, 2000; FIELDS; GORAN; MCCRORY, 2002).

A avaliação tanto por pesagem hidrostática quanto por ADP necessitam da avaliação do volume residual dos pulmões. Ainda, há uma limitação quanto à conversão da densidade em massa ou percentual de gordura. Pois esta depende da aplicação de fórmulas, que apresentam diferenças entre si, sendo as mais utilizadas as de Siri e a de Brozek (COSTA, 2001; ELLIS, 2000; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

A fórmula de Siri foi desenvolvida com base na análise química de apenas cinco cadáveres humanos. Já a de Brozek foi desenvolvida através de uma meta-análise considerando: dados da análise química de quatro cadáveres humanos, especialmente de três indivíduos do sexo masculino; da análise da composição química de ossos longos de vacas e cachorros; e de alterações na massa e volume

em 10 homens que passaram por ganho de gordura e 10 obesos que fizeram dieta restritiva de calorias (BROZEK et al., 1963; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

A aplicação destas fórmulas desenvolvidas com cadáveres pode acarretar em erros na avaliação *in vivo*. Além disso, fórmulas baseadas em poucos indivíduos podem embutir um viés ao aplicá-las em populações desconsideradas no desenvolvimento da equação, especialmente no que tange idade, etnia e sexo (ELLIS, 2000; FOSBØL; ZERAHN, 2015; LOHMAN, 1981; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Considerando a medição da densidade corporal e as fórmulas de Siri e Brozek é possível dividir a massa do corpo em dois compartimentos: gordura e massa livre de gordura (MLG). Para que haja exatidão é necessário que a densidade destes dois compartimentos seja conhecida. A literatura indica que não há grande variação da densidade da gordura entre indivíduos, porém a densidade dos componentes da MLG varia conforme etnia, sexo, maturação sexual, prática de atividade física e características antropométricas como a massa corporal total e a quantidade de gordura (ELLIS, 2000; FARR et al., 2012, 2013; RIPKA et al., 2016a; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Métodos que avaliam mais compartimentos tendem a produzir resultados mais exatos, pois a adição de informação reduz a quantidade de valor tabelado a ser utilizado, assim espera-se uma redução dos erros. Desta forma, tanto a ADP quanto a pesagem hidrostática podem ser acrescidas de métodos para avaliação da água corporal através da diluição de isótopos, reduzindo os erros a partir da constituição de um modelo de três compartimentos: gordura, água e resíduos (ANDREOLI et al., 2016; ELLIS, 2000; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Outra forma de obter três compartimentos é através da DXA, sendo eles: gordura, ossos e massa magra mole. Esta técnica consiste na emissão de feixes duplos de fótons com energias distintas, aproximadamente 40keV e 70keV. Esses são medidos por um receptor após a passagem pelo corpo do avaliado. Os fótons sofrem atenuação distinta ao interagir com diferentes elementos permitindo a identificação da matéria constituinte do trecho atravessado pelo feixe (PIETROBELLI et al., 1996; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Ainda que a DXA funcione com base no conhecimento dos elementos constituintes dos diferentes tecidos, não há a necessidade de conhecer a densidade específica de cada compartimento, introduzindo maior exatidão à avaliação. A DXA



também é sensível à variação da hidratação corporal e não necessita da avaliação de volumes pulmonares e, apesar da necessidade do avaliado permanecer imóvel, a avaliação do corpo inteiro leva cerca de cinco minutos (PIETROBELLI et al., 1996; RIPKA et al., 2016b).

Além disso, os modelos mais recentes de densitômetros radiológicos possuem alta resolução e fazem a avaliação com os feixes de fótons incidindo sob diferentes ângulos no corpo. Desta forma, é possível determinar o tecido constituinte pixel por pixel o que gera uma avaliação mais exata. Conhecendo as margens possíveis de densidade dos diferentes tecidos e a concentração de diferentes substâncias em cada compartimento, é possível uma determinação melhor do constituinte daquele pixel (TOOMBS et al., 2012).

Após 2011, também ocorreu um aprimoramento no software dos DXA. Este ocorreu pela inserção dos dados obtidos pelo *National Health and Nutrition Examination Survey* (NHANES), realizado pelos *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC). Este estudo realiza avaliações de densidade óssea com DXA desde 1988, passando a avaliar a gordura com esta técnica a partir de 2000. Anualmente cerca de 5000 pessoas de todas as idades são avaliadas.

Ainda que alguns pesquisadores defendam que a pesagem hidrostática seja o padrão-ouro para avaliação da composição corporal, percebe-se que os argumentos utilizados para a crítica da DXA baseiam-se em modelos de densitômetros diferentes dos utilizados atualmente e desconsiderando os aprimoramentos realizados nos *softwares* (CDC, 1989; FAN et al., 2014; TOOMBS et al., 2012; ZIPF et al., 2013).

Uma das limitações desta técnica estão no custo da avaliação, o equipamento é caro e não pode ser transportado, tratando-se de uma técnica laboratorial. Outra limitação é que o aparelho emite radiação o que impede seu uso constante pelos mesmos avaliados e por gestantes, embora a dose de radiação seja considerada baixa, variando entre  $0,37\mu\text{Sv}$  e  $4,7\mu\text{Sv}$ , dependendo do modelo do densitômetro radiológico (ELLIS, 2000; TOOMBS et al., 2012).

Considerando a dificuldade de aplicação de avaliações através de DXA na população em geral, e mesmo dos demais métodos indiretos, foram desenvolvidas técnicas mais acessíveis. Estas são desenvolvidas a partir da aquisição de uma ou mais medidas associadas com a quantidade de gordura corporal e, concomitantemente, da avaliação por um método indireto. A partir destas medidas, são construídos modelos matemáticos preditivos da gordura corporal, sendo estes

métodos considerados duplamente-indiretos (COSTA, 2001; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Entre os diversos métodos duplamente-indiretos destaca-se a técnica de dobras cutâneas (DC), por necessitar de um equipamento facilmente transportável, de baixo custo e rápida medição. Porém, esta técnica necessita de perícia dos avaliadores exigindo treinamento e constante monitoramento da confiabilidade das medidas adquiridas (ANDREOLI et al., 2016; ELLIS, 2000; GUEDES, 2013).

Por volta de 1960 começaram a ser desenvolvidas as primeiras fórmulas para determinar o quantidade de gordura a partir de DC, tendo como base a pesagem hidrostática (BRODIE; MOSCRIP; HUTCHEON, 1998). Entre as equações destinadas a adolescentes, até o final da década de 1980 todas as fórmulas desenvolvidas para DC foram construídas com base em modelos de dois compartimentos, quando Slaughter e colaboradores (1988) publicam um estudo baseado em um modelo de quatro compartimentos. Nesta equação, além da pesagem hidrostática, foi utilizada a diluição de deutério para determinar a água corporal total e absorciometria de fóton único para determinar a massa óssea (SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

As fórmulas para adolescentes baseadas em DXA que já partem de um modelo de três compartimentos passaram a ser modeladas a partir da década de 1990. Apesar de serem desenvolvidas com três compartimentos, essas fórmulas tendem a apresentar melhores resultados que a equação de Slaughter e colaboradores (1988) por utilizarem a DXA como referência. Apesar desta vantagem metodológica estas fórmulas não são comumente utilizadas (SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A quantidade de gordura corporal apresenta uma interrelação com uma série de variáveis metabólicas como a pressão arterial, glicemia e concentrações sanguíneas de triglicerídeos e colesterol. Em casos de obesidade é comum que estas variáveis apresentem níveis patológicos, levando à síndrome metabólica (GOBATO et al., 2014; RIZZO et al., 2013; STABELINI NETO et al., 2012).

Rizzo e colaboradores (2013) conduziram um estudo com adolescentes brasileiros analisando a associação entre estágios clínicos e pré-clínicos da obesidade e indicadores metabólicos. Aqueles em estados de acúmulo maior de

gordura corporal apresentavam uma prevalência maior de dislipidemia e hipertensão. Entre os indivíduos do sexo masculino foi encontrada ainda, uma associação entre a obesidade e valores reduzidos de HDL.

Foi identificada também uma relação entre o acúmulo de gordura e a resistência periférica à insulina. Nestes casos, o indivíduo apresenta valores elevados de glicemia e também de insulina. O que indica que a obesidade interfere no mecanismo de carreamento da glicose para o interior das células (GOBATO et al., 2014; GUNTSCHE et al., 2010; KOKSHAROVA et al., 2017).

A obesidade ainda está associada a danos às estruturas corporais. A incidência do peso excessivo sobre as articulações pode causar o desgaste das cartilagens levando à artrite. Evidências apontam que a obesidade pode comprometer o alinhamento ósseo gerando alterações na arco plantar, no joelho e na curvatura lombar (KOWAL et al., 2015; MINGHELLI et al., 2011).

Dentre os aspectos psicológicos que estão associados à obesidade estão distúrbios alimentares e ansiedade. Condições que podem auxiliar à explicar o acúmulo de gordura. Embora a relação de causalidade aponte que a obesidade é causada por estes aspectos, deve ser considerado que ela também pode influenciá-los. Obesos tendem a apresentar autoestima reduzida e uma autoimagem negativa, o que pode levar a níveis maiores de ansiedade e agravamento dos distúrbios alimentares (CARDOSO et al., 2009).

A fase mais crítica no desenvolvimento da obesidade é a adolescência, pois nesta fase que o indivíduo desenvolve sua autonomia e passa a criar os próprios hábitos alimentares e de prática de atividade física, com menos influência familiar. É comum que crianças que possuíam dietas com carga calórica adequada e com variedade de nutrientes transitem para uma alimentação de menor qualidade ao final da adolescência. O mesmo efeito é verificado em relação à prática de atividade física, que diminui ao longo da adolescência enquanto que hábitos sedentários tendem a aumentar (DUMITH et al., 2010; KNUTH et al., 2011; QUADER et al., 2016; TROFHOLZ et al., 2015).

Embora os efeitos da obesidade no organismo, como a síndrome metabólica sejam discretos entre adolescentes, as prevalências destas doenças vem aumentando a medida que esta população engorda. Além disso, adolescentes com sobrepeso ou obesidade no final da adolescência, tendem a agravar esta condição ao longo da vida adulta. Isto aponta a necessidade de monitoramento da quantidade

de gordura corporal nesta faixa etária (CONDE; BORGES, 2011; DEEPASHINI et al., 2014; REILLY; KELLY, 2010; SCHOMMER et al., 2014).

As técnicas mais simples para este monitoramento são os índices antropométricos, entre eles destaca-se o IMC. Esse foi proposto no século XIX por Adolphe Quetelet, sendo calculado a partir dos valores da massa corporal total e de estatura (QUETELET, 1835). Por sua simplicidade é de fácil aplicação em estudos epidemiológicos e tem mostrado uma relativa eficiência na identificação da obesidade e na associação com variáveis relativas à síndrome metabólica (DEMMER et al., 2016; GÓMEZ-CAMPOS et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2006).

A Organização Mundial da Saúde indica o seu uso no monitoramento da população tendo inclusive desenvolvido um sistema de classificação específico para adolescentes baseado nesta medida. Ao longo dos anos diversos outros modelos classificatórios foram criados por outras instituições (COLE et al., 2000; CONDE; MONTEIRO, 2006; MUST; DALLAL; H, 1991; ONIS et al., 2007).

Estes sistemas de classificação baseiam-se em dados de distribuição populacional como percentis e score Z. Em geral é utilizado o 85º percentil como ponto de corte de sobrepeso e para a obesidade o 95º percentil. Isto significa que populações mais gordas tendem a gerar pontos de corte mais elevados. Como a população vem engordando nos últimos anos, a medida que novos estudos estão sendo realizados, e os pontos de corte sendo elevados, a prevalência tende a manter-se próxima de 15% para o sobrepeso e 5% para a obesidade.

Outra ponto a ser considerado, é a população adotada nestes estudos. Há variabilidades morfológicas entre as populações, como a densidade de diferentes tecidos, a quantidade de massa muscular e a distribuição da gordura pelo corpo. Por isso, pontos de corte desenvolvidos com uma determinada população podem não ser extrapoláveis para outras que não possuam as mesmas características (FARR; KHOSLA, 2015; GORDON et al., 2008; LÓPEZ SÁNCHEZ; LÓPEZ SÁNCHEZ; DÍAZ SUÁREZ, 2015; RIPKA et al., 2016a; WELLS et al., 1999).

Medidas de circunferência também são amplamente utilizadas em estudos epidemiológicos embora apresentem resultados inferiores ao IMC. No diagnóstico da obesidade tem apresentado relação com o desenvolvimento de doenças metabólicas e cardíacas. Como a gordura das regiões centrais do corpo está mais associada à estas doenças, a avaliação de circunferências como a circunferência da cintura ou do abdômen pode ser um indicativo melhor do risco de desenvolvimento

destas condições por acúmulo de gordura (DEMMER et al., 2016; RIZZO et al., 2013; ROMERO-VELARDE et al., 2013).

Outros índices comumente utilizados são razões entre a circunferência da cintura e outras medidas, em especial a relação cintura-estatura (RCE). Ainda não está bem definido se a RCE possui eficiência maior que o IMC na avaliação da obesidade ou ainda qual medida é indicada conforme a situação. Em uma análise da associação entre medidas antropométricas simples e fatores de risco cardiometabólicos em adultos jovens, as concentrações sanguíneas de triglicerídeos, HDL e LDL apresentaram-se mais associadas à RCE. Enquanto que a proteína C reativa, a concentração de insulina sanguínea, a resistência periférica à insulina e a pressão arterial sistólica estiveram mais associadas ao IMC (DEMMER et al., 2016).

Outro ponto é que a RCE ainda carece do desenvolvimento de pontos de corte para a classificação de indivíduos. Embora algumas pesquisas tenham sido conduzidas neste sentido, o tamanho amostral costuma ser inferior ao que foi utilizado no desenvolvimento dos pontos de corte propostos para o IMC. Ainda, as mesmas limitações apresentadas nos estudos de IMC como a base em distribuições populacionais são apresentadas (MARRODAN et al., 2013; NAMBIAR; HUGHES; DAVIES, 2010).

Apesar de úteis, todas estas medidas antropométricas simples não são capazes de mensurar a quantidade de gordura corporal. Assim, alguns erros de diagnóstico podem ocorrer, como indivíduos com muita massa muscular sendo classificados com sobrepeso pelo IMC ou indivíduos com excesso de gordura em regiões periféricas serem considerados normais pela RCE.

Dados mais exatos podem ser obtidos a partir da avaliação da composição corporal, especialmente a partir de métodos indiretos como a DXA. Porém a utilização desta tecnologia para um monitoramento epidemiológico da população é difícil devido ao caráter laboratorial da avaliação e pelo alto custo (ELLIS, 2000; GUEDES, 2013).

Por estas razões, a utilização de métodos duplamente indiretos como as DC permite uma aplicação mais ampla em diferentes populações. Porém, as equações mais utilizadas foram desenvolvidas com base na pesagem hidrostática e na maior parte das vezes em um modelo de dois compartimentos. Além disso, a maior parte das equações foi desenvolvida com base em amostras estadunidenses ou europeias

que possuem características distintas dos adolescentes da Região Metropolitana de Curitiba (SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013).

Alguns estudos realizaram avaliações de amostras grandes através da DXA ou DC e propuseram pontos de corte baseados na distribuição populacional, o que traz as mesmas limitações apresentadas pelas classificações por IMC (KELLY; WILSON; HEYMSFIELD, 2009; KHADGAWAT et al., 2013; KIM et al., 2013).

Uma classificação que não utiliza a distribuição amostral da quantidade de gordura foi desenvolvida por Williams e colaboradores (1992), nela o ponto de corte proposto foi estabelecido através da associação entre o percentual de gordura e a presença de valores elevados das variáveis metabólicas: pressão arterial sistólica, pressão arterial diastólica, colesterol sérico total e relações entre HDL e LDL. Porém, estes valores foram definidos como elevados a partir do último quintil, segundo a amostra utilizada no estudo, o que mantém o problema da utilização de uma distribuição amostral. O percentual de gordura foi calculado segundo DC através de uma fórmula desenvolvida a partir de pesagem hidrostática, em um modelo de dois compartimentos e considerando a equação de Siri para a conversão a partir da densidade. Apesar destes limitantes, a proposta de Williams e colaboradores ainda é o melhor critério existente para a classificação do excesso de gordura entre adolescentes (LAURSON; EISENMANN; WELK, 2011; SILVA et al., 2016; WANG; HUI, 2015).

Um outro aspecto que levanta dúvidas, é a técnica estatística utilizada no desenvolvimento das equações. A seleção da amostra pode ser heterogênea ou apresentar poucos indivíduos (Silva et al., 2013). Muitas vezes as diversas dobras são somadas configurando uma única variável sendo modelada por regressão linear simples. Outras vezes a regressão ocorre por regressão quadrática ou tem a variável dependente normalizada por transformação logarítmica. A escolha das variáveis que devem ser incluídas além das DC também não é clara (DEURENBERG; WESTSTRATE; SEIDELL, 1991; DURNIN; RAHAMAN, 1967; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013; SLAUGHTER et al., 1988).

A utilização destas equações para posterior determinação do excesso de gordura também parece inadequada, uma vez que essas equações modeladas por regressão linear ou quadrática resultam em dados escalares, enquanto que a determinação do excesso de gordura é categórica. Uma alternativa seria a regressão logística que determina a probabilidade de um indivíduo apresentar uma

condição, porém a eficácia desta estratégia no contexto da obesidade na adolescência é desconhecida (CHEN et al., 2008; FIELD, 2009; HOSMER; LEMESHOW, 2000).

## 1.2 HIPÓTESE

Diferenças entre populações podem acarretar na inadequação de modelos estrangeiros para a análise da gordura corporal em crianças e adolescentes.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo Geral

Produzir um modelo de análise da gordura corporal apropriado às crianças e adolescentes da Região Metropolitana de Curitiba.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar medições do percentual de gordura através de dobras cutâneas com valores obtidos pro DXA;
- Aplicar técnicas de modelagem de regressão linear para avaliação da gordura corporal
- Desenvolver um modelo de regressão logística para a classificação o excesso de gordura;
- Analisar a eficiência dos modelos desenvolvidos.

## 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação iniciou-se com a sessão INTRODUÇÃO. Nela foram apresentados o arcabouço teórico sobre o qual fundamenta-se o estudo conduzido e as bases científicas que indicam as propostas do trabalho além da hipótese e objetivos.

O capítulo METODOLOGIA apresenta de forma detalhada os aspectos éticos, procedimentos, instrumentos e análise estatística dos dados utilizados na pesquisa.

Em seguida, no capítulo RESULTADOS são apresentados os artigos que compõem o desenvolvimento da dissertação.

O ARTIGO I visa avaliar a exatidão das equações preditivas da quantidade de gordura corporal entre adolescentes de ambos os sexos. Foram selecionadas equações desenvolvidas a partir de medições de DXA e que tem como variáveis de entrada medidas antropométricas simples como massa, estatura e dobras cutâneas. Estas foram aplicadas na amostra e comparadas com o valor obtido por DXA.

Todas as equações foram consideradas inadequadas para a avaliação da gordura entre adolescentes apresentando coeficientes de correlação de concordância abaixo de 0,900. O valor mais elevado apresentado foi de 0,812 e mesmo considerando um intervalo de confiança de 95% este valor encontra-se abaixo do exigido. A partir deste artigo foi apontado também que o tamanho da amostra é um fator fundamental para a qualidade do modelo construído.

O ARTIGO II visa avaliar a exatidão das equações preditivas da quantidade de gordura corporal a partir das dobras cutâneas entre adolescentes de ambos os sexos. Foram selecionadas equações generalistas, o que faz com que estas sejam as mais utilizadas, aplicáveis a ambos os sexos e a uma ampla faixa etária e seus valores foram comparados com a medição por DXA.

Apenas uma equação apresentou erro padrão de estimativa e erro total dentro dos padrões aceitáveis (<3,5%). Todas as equações apresentaram diferença significativa em relação ao valor obtido pela DXA havendo uma tendência de subestimação dos valores pelas avaliações de dobras cutâneas. Esta tendência resultou em valores elevados de especificidade (~95%) e reduzidos de sensibilidade (~55%).

A partir da visualização da incapacidade das equações testadas em determinar o excesso de gordura foi indicada a necessidade da construção de um modelo para este fim. Foram considerados os aspectos levantados pelos ARTIGO I e II; e escolhida a regressão logística para o desenvolvimento do modelo conforme apresentado no ARTIGO III.

Nele foi proposta uma modelagem com saída categórica, a fim de verificar se a regressão logística pode apresentar resultados superiores aos obtidos pela análise tradicional das dobras cutâneas ou IMC.

A comparação com os demais métodos indicou que a regressão logística é uma ferramenta válida para a construção de um modelo de identificação do excesso de gordura apresentando resultados superiores aos demais métodos analisados com alta sensibilidade (99%) e especificidade (83%).



E ainda era necessária a verificação da possibilidade de construção de um modelo avaliando a presença de valores discrepantes e influentes, além de estabelecer um critério de controle da multicolinearidade. Porém, as equações analisadas neste artigo não são as mais utilizadas havendo a necessidade de conhecer a capacidade de avaliação delas.

Visando analisar estes pontos foi escrito o ARTIGO IV. Nele foi escolhida uma população restrita com características morfológicas distintas. O que dificultaria a modelagem e permitiria uma melhor análise da eficácia dos pontos levantados anteriormente na construção de um modelo para determinação da quantidade de gordura a partir das dobras cutâneas.

A equação construída apresentou um ajuste superior a 0,900, indicado como mínimo ( $R^2=0,950$ ). O  $R^2_{ajustado}$  de 0,948 indica que o modelo é adequado para amostras distintas de crianças com paralisia cerebral. E as estratégias de combate à multicolinearidade foram eficientes.

Por fim é apresentada a CONCLUSÃO que sintetiza os principais resultados deste estudo e apresenta sugestões de trabalhos futuros, finalizando a dissertação.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto aos objetivos, esta pesquisa caracteriza-se como exploratória-descritiva, pois busca investigar e testar nos participantes do estudo a qualidade das equações existentes para determinação da gordura em adolescentes. Além disso, busca desenvolver instrumentos estimativos de medidas de gordura a partir das relações obtidas.

O estudo foi realizado em caráter transversal com a coleta de dados sendo realizada através de um levantamento em duas amostras distintas, uma composta por adolescentes hígidos e outra por crianças com paralisia cerebral. A análise dos dados ocorreu através de métodos quantitativos.

### 2.2 AMOSTRA DE ADOLESCENTES HÍGIDOS

A amostra foi selecionada por conveniência, tendo sido realizados contatos com escolas públicas e privadas, clubes esportivos além de matérias em jornais impressos e televisivos convidando para a participação. Todos aqueles que se apresentavam e preenchiam os critérios foram avaliados.

Foi estabelecido como critério de inclusão idade entre 10 e 18 anos completos e residente na Região Metropolitana de Curitiba. Os critérios de exclusão foram a realização de exames radiológicos na semana anterior, a utilização de medicamentos a base de cálcio e gestação ou suspeita de gravidez. A avaliação ocorreu mediante a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). No caso de indivíduos legalmente incapazes o TCLE foi assinado pelo responsável legal e a avaliação ocorreu após o assentimento do avaliado. A pesquisa encontra-se aprovada no Comitê de Ética em Pesquisa da UTFPR sob o número 11583113.7.0000.5547.

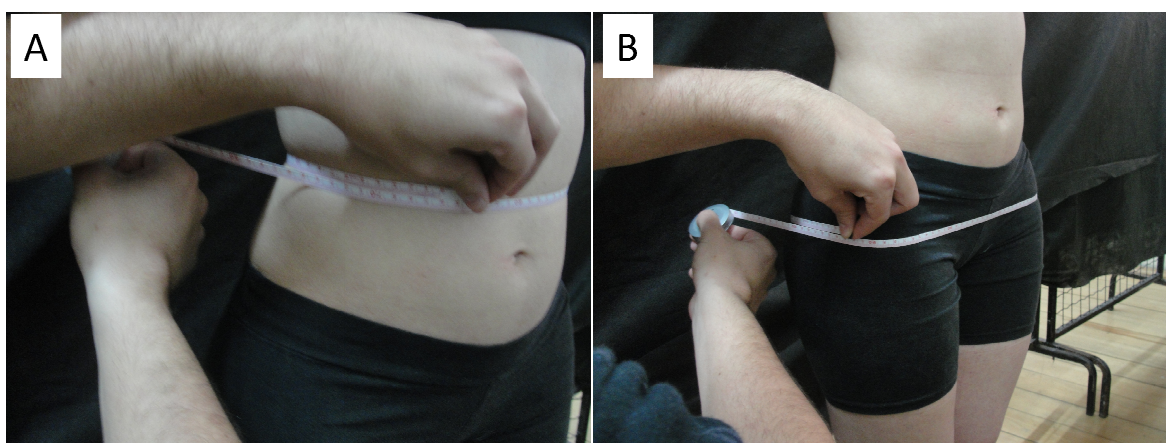
No total, foram avaliados 697 indivíduos de ambos os sexos entre junho de 2013 e maio de 2016. O tamanho da amostra varia nos artigos apresentados devido ao andamento da coleta e características metodológicas de cada artigo.

### 2.2.1 Instrumentos e Procedimentos

A idade foi definida a partir da diferença entre a data de nascimento e a data de avaliação sendo apresentada em anos ou anos completos.

A MCT foi avaliada com o indivíduo imóvel sobre uma balança eletrônica Tanita, com resolução de 0,1kg e medição máxima de 200kg. A estatura foi avaliada em um estadiômetro de madeira WCS com resolução de 0,001m. Sobre o instrumento, o avaliado permanecia no plano de Frankfurt sendo medida a distância entre o vértex da cabeça e o solo, em metros, no momento de uma inspiração máxima. A partir destas medidas foi estabelecido o IMC dividindo-se a MCT pelo quadrado da estatura.

Os valores de circunferência avaliados foram a circunferência da cintura (CC) e do quadril (CQ), avaliadas em centímetros com uma fita antropométrica. O instrumento possuía resolução de 0,1cm e medida máxima de 150,0cm. As avaliações foram realizadas com a fita paralela ao solo, nos pontos estabelecidos por Costa (2001, p.48): a CC foi “medida no ponto médio entre o último arco costal e a crista íliaca”; a CQ foi “medida no ponto de maior protuberância posterior dos glúteos” (Figura 1).



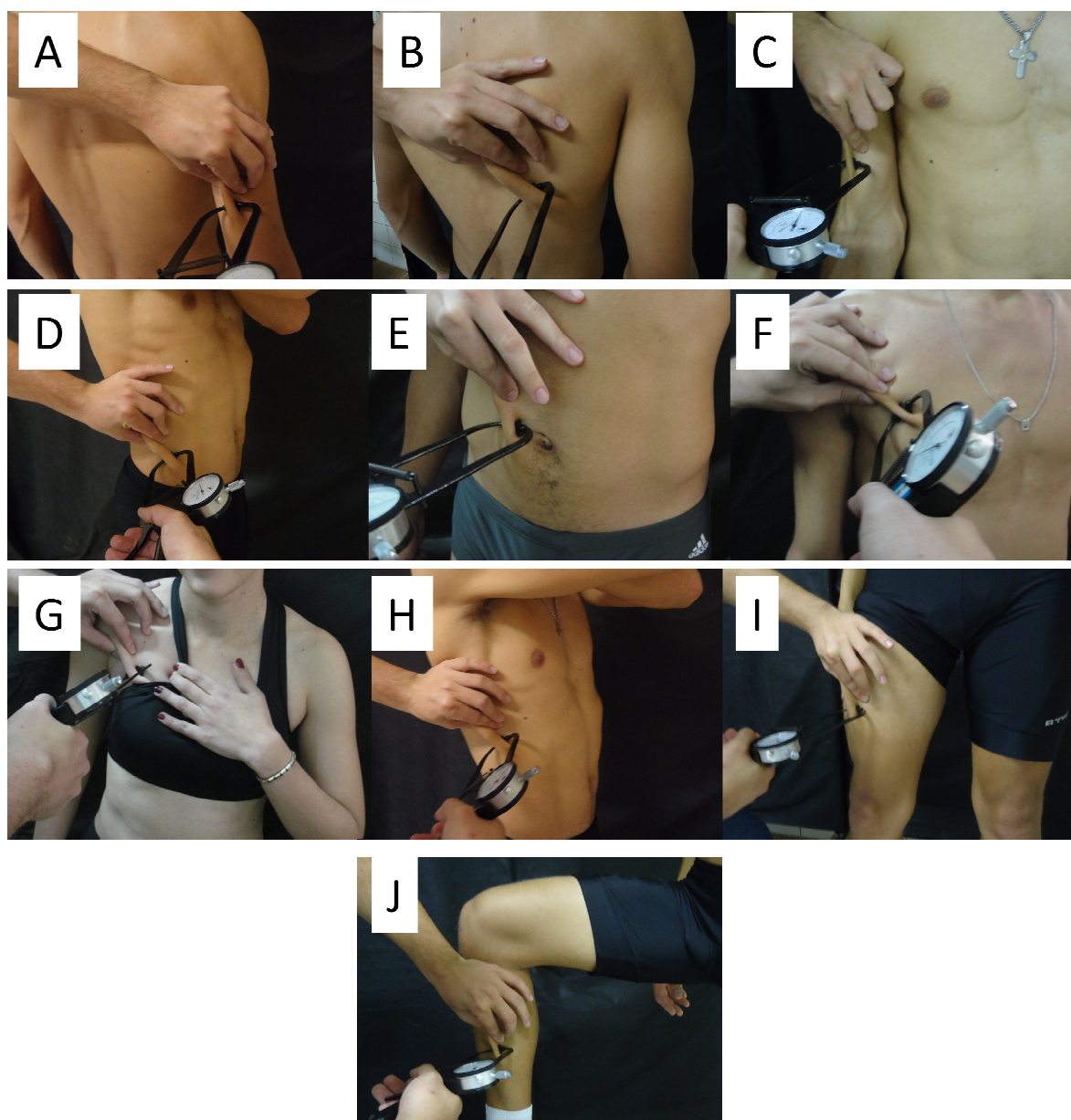
**Figura 1 - Medidas de circunferência. A: circunferência da cintura; B: circunferência do quadril. Fonte: Autor.**

As dobras cutâneas foram coletadas por meio de plicômetro da marca Cescorf com resolução de 0,1 mm. Foram realizadas duas coletas de forma não consecutiva em cada ponto sendo adotada a média entre todas as aferições, caso a diferença entre as medidas fosse maior que 0,5 mm foi coletada uma terceira

medida. A avaliação foi conduzida por dois avaliadores. O erro intra-avaliador foi de 0,54% e o inter-avaliador de 1,20%.

As avaliações aconteceram do lado direito segundo preconizado por Costa (2001, 40-43): a dobra cutânea tricipital foi coletada “na face posterior do braço paralelamente ao eixo longitudinal, no ponto que compreende a metade da distância entre a borda súpero-lateral do acrômio e o olecrano”; a subescapular foi medida “obliquamente em relação ao eixo longitudinal, seguindo a orientação dos arcos costais, dois centímetros abaixo do ângulo inferior da escápula”; a bicipital foi medida “no sentido do eixo longitudinal do braço, na sua face anterior, no ponto de maior circunferência aparente do ventre muscular do bíceps”; a supra-ílica foi medida “obliquamente em relação ao eixo longitudinal, na metade da distância entre o último arco costal e a crista ílica, sobre a linha axilar média”; a abdominal foi medida “a dois centímetros à direita da cicatriz umbilical, paralelamente ao eixo longitudinal”; a peitoral foi medida “oblíqua em relação ao eixo longitudinal, na metade da distância entre a linha axilar anterior e o mamilo, para homens, e a um terço da linha axilar anterior, para mulheres”; axilar média foi medida “no ponto de intersecção entre a linha axilar média e uma linha imaginária transversal na altura do apêndice xifóide do esterno. A medida foi realizada obliquamente ao eixo longitudinal, com o braço do avaliado deslocado para trás, a fim de facilitar a obtenção da medida”; a dobra cutânea da coxa foi medida no sentido longitudinal na metade da “distância entre o ligamento inguinal e a borda superior da patela”; e a dobra cutânea da panturrilha medial foi medida com o joelho em flexão de 90°, com a musculatura da panturrilha relaxada e o tornozelo em posição neutra, “no ponto de maior perímetro da perna, com o polegar da mão esquerda (do avaliador) apoiado na borda medial da tíbia” (Figura 2).

Foi realizada uma avaliação por DXA para obter-se o valor do percentual de gordura. Para isto foi utilizado o densitômetro radiológico Hologic Discovery QDR que emite feixes do tipo *pencil-fan beam*. Os indivíduos foram avaliados em decúbito dorsal, com os braços relaxados posicionados ao lado do corpo e com os membros inferiores mantidos em rotação interna por um suporte de acrílico. O tempo de avaliação foi de 4 a 6 minutos com uma dosagem de radiação de 5 $\mu$ Sv. As avaliações foram realizadas a partir dos valores de idade, MCT, estatura, gênero e etnia na atualização mais recente do *software* fornecido pela fabricante.



**Figura 2 - Medição das dobras cutâneas. A: tricipital; B: subescapular; C: bicipital; D: supra-iliaca; E: abdominal; F: peitoral (homens); G: peitoral (mulheres); H: axilar média; I: coxa; J: panturrilha média.**

**Fonte: Autor**

### 2.3 AMOSTRA DE CRIANÇAS COM PARALISIA CEREBRAL

Esta amostra foi selecionada entre crianças que participavam de um programa de fisioterapia intensiva na cidade de Curitiba-PR. Todos aqueles capazes de participar da pesquisa, considerando-se os critérios de inclusão e exclusão, e que concordaram com a participação foram avaliados.

Como critérios de inclusão foi estabelecido: idade até 10 anos e diagnóstico funcional de qualquer tipo de paralisia cerebral. Os critérios de exclusão foram a realização de exames radiológicos na semana anterior à avaliação e o uso de medicamentos a base de cálcio. Devido a idade dos participantes foi obtida autorização com os responsáveis legais através do TCLE. Foram avaliados 63 indivíduos de ambos os gêneros. A pesquisa foi aprovada sob o número 20058513.9.0000.5218 no Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário Campos de Andrade.

### 2.3.1 Instrumentos e Procedimentos

O grau de comprometimento motor dos indivíduos foi avaliado pelo Sistema de Classificação da Função Motora Grossa (GMFCS). Esta escala leva em conta o desempenho motor da criança com ênfase nos movimentos de andar e sentar. A escala vai de I, menor déficit motor, a V, maior déficit motor.

A MCT foi avaliada em uma balança digital Wiso W801 com capacidade de 0-180kg e resolução de 0,1kg. A avaliação ocorreu com os indivíduos estáticos e sem apoio externo. Para a avaliação da estatura foi utilizado um estadiômetro de madeira WCS, com resolução de 0,001m e intervalo de medição de 0,001-3,000m.

As dobras cutâneas foram avaliadas por um único avaliador, certificado com o nível 2 pela *International Society of Advancement of Kinanthropometry*. Foram coletadas as dobras cutâneas tricipital, bicipital, supra-ilíaca, coxa medial, abdominal e panturrilha medial. Cada dobra foi avaliada três vezes em cada lado do corpo sendo adotado o valor em milímetros proveniente da soma das médias de cada lado. Como a paralisia cerebral pode causar alterações morfológicas distintas em diagnósticos funcionais e GMFCS diversos, foi adotada essa estratégia a fim de atenuar os efeitos das diferenças entre os hemisférios direito e esquerdo de cada indivíduo na avaliação de dobras cutâneas. As avaliações ocorreram conforme as recomendações da *American College of Sports Medicine (AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE, 2010)*.

A avaliação da composição corporal ocorreu por DXA, utilizando o densitômetro radiológico Lunar Prodigy Advance que realiza as medições através de um *pencil-fan beam*. As avaliações ocorreram com os indivíduos imóveis em decúbito dorsal com os membros inferiores em rotação medial apoiados em uma

base de acrílico. Aqueles que não conseguiram manter-se conforme o exigido para a avaliação foram sedados. O *software* utilizado foi o Encore 2011 GE Healthcare que utiliza dados oriundos do NHANES III. Segundo o fabricante o coeficiente de variação do equipamento é menor que 1%. A variável escolhida para medição de gordura foi a Massa de Gordura. Como há grande variedade na densidade da massa muscular, devido a alterações no tônus muscular decorrentes da paralisia cerebral, uma medida isolada da gordura não manifesta estes efeitos.

## 2.4 ANÁLISE DE DADOS

### 2.4.1 Pressupostos para a inferência estatística

Inicialmente foi considerado o tipo de dados de cada variável. Exceção feita às variáveis sexo, presença de excesso de gordura e GMFCS, que são categóricas, todas as demais variáveis são escalares. Em seguida foi verificada que há independência dos valores, ou seja, a coleta de um dado não influencia na coleta de outros dados para a mesma variável.

Considerando estas características, o critério de determinação do tipo de teste a ser utilizado, quando necessário, foi baseado no tipo de distribuição apresentado por cada variável. Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a normalidade da distribuição dos dados (FIELD, 2009).

A descrição dos dados é realizada através de medidas de média e desvio padrão, valores mínimos e máximos para as variáveis escalares. As variáveis categóricas são descritas a partir das frequências relativas e absolutas.

### 2.4.2 Análise inferencial

Para verificar a concordância entre as equações estimativas da gordura corporal e o valor obtido pela DXA foi utilizado o Coeficiente de Correlação e Concordância (CCC). Este verifica a dispersão dos dados em relação a uma linha de concordância. Foi estabelecido que as equações deveria possuir um  $CCC > 0,900$  para serem concordantes com a DXA.

A associação entre os resultados das equações e a medida da DXA foi verificado pela Correlação de Pearson e o Teste T Pareado foi utilizado para verificar

se estes valores são estatisticamente diferentes. Foi ainda calculado o erro total e o erro padrão de estimativa, sendo indicado que ambos devem estar abaixo de 3,5 (LOHMAN, 1993).

Foi ainda aplicada a análise de Bland-Altman, uma análise subjetiva que permite, a partir da plotagem gráfica, reconhecer a capacidade avaliativa de uma determinada técnica e características do erro como distribuição e tendência. Nesta análise foi verificada a posição do viés indicando se o erro é positivo ou negativo e a magnitude, sendo ainda realizado um teste t para verificar se este difere de zero, indicando a exatidão do método. Foram ainda comparados as posições e distâncias dos limites de concordância a fim de perceber a variabilidade das avaliações em relação à DXA. A dispersão dos valores foi observada verificando a presença de valores acima da linha superior de concordância e abaixo da linha inferior. Através desta análise é possível verificar a tendência de erro e a precisão. Ainda através da dispersão e com apoio da linha de correlação é possível verificar se há uma tendência de erro associada ao tamanho da medida (BLAND; ALTMAN, 1986).

As avaliações de composição corporal tanto por DXA quanto por dobras cutâneas foi estabelecida em %G. As equações de dobras cutâneas que resultavam em valores de densidade corporal tiveram os resultados convertidos através da equação de Siri. Aquelas que resultavam em valores de massa de gordura tiveram a conversão realizada através da divisão destes valores pela MCT.

A determinação do excesso de gordura ocorreu a partir de valores de %G e IMC. Para o primeiro foi utilizado o critério determinado por Williams et al., sendo o ponto de corte de 25% para o sexo masculino e 30% para o feminino (WILLIAMS et al., 1992). O IMC não avalia a gordura corporal, sendo impossível de determinar o excesso de gordura a partir dele. Por isso, foi estabelecido como análogo ao excesso de gordura o valor de sobrepeso. Este geralmente é obtido a partir de distribuições populacionais, considerando o 85º percentil, sendo esta a condição pré-clínica da obesidade para esta medida. O estudo de Williams utiliza o 80º percentil para determinar valores elevados das variáveis metabólicas associadas ao excesso de gordura, valor próximo ao utilizado para o IMC indicando uma analogia possível (COLE et al., 2000; CONDE; MONTEIRO, 2006; MUST; DALLAL; H, 1991; ONIS et al., 2007; WILLIAMS et al., 1992).

A partir do estabelecimento da variável categórica "excesso de gordura" os valores obtidos por diferentes métodos foram comparados com o padrão-ouro



estabelecido pela DXA. As técnicas utilizadas para isso foram a sensibilidade, especificidade e *Area Under the Curve* (AUC). A primeira avalia a quantidade de diagnósticos positivos entre quem possui a condição analisada, sendo capaz de indicar a quantidade de falsos negativos presentes na amostra. A segunda avalia a relação entre os diagnósticos negativos e quantidade de indivíduos sem a condição analisada, refletindo a quantidade de falsos positivos. Por fim estes valores são reunidos na AUC que sintetiza as duas medidas em um único valor sem efeitos da prevalência da condição analisada.

#### 2.4.3 Construção dos modelos para estimativa da gordura corporal

A partir de cada amostra foi construído um modelo específico. A amostra de adolescentes hígidos serviu como base para a modelagem de um modelo categórico para a determinação do excesso de gordura. Com a amostra de crianças com paralisia cerebral foi construído um modelo escalar indicador da massa de gordura para a população com estas características.

A construção de modelos é tradicionalmente realizada através de regressão linear com indivíduos hígidos. Assim, optou-se por realizar uma regressão por um método não tradicional em uma população comumente utilizada e uma regressão tradicional para uma população restrita (DEURENBERG; WESTSTRATE; SEIDELL, 1991; DURNIN; RAHAMAN, 1967; SILVA; FIELDS; SARDINHA, 2013; SLAUGHTER et al., 1988).

##### 2.4.3.1 Modelo categórico

Entre a amostra de adolescentes hígidos foram selecionados os adolescentes do sexo masculino com idade entre 12 e 18 anos. Foram seguidos os mesmos critérios de inclusão e exclusão apresentados na sessão 2.2. Ao todo foram selecionados dados de 367 indivíduos para a modelagem matemática.

A técnica escolhida para a construção do modelo foi a regressão logística. Esta indica a probabilidade de um indivíduo possuir um valor categórico determinado pela variável dependente. No presente estudo, esta variável foi o excesso de gordura, determinado pela DXA a partir dos pontos de corte proposto por Williams et

al. (1992). Desta forma, a fórmula gerada por esta modelagem apresenta a probabilidade de um indivíduo apresentar excesso de gordura. É considerado que valores acima de 50% indicam esta condição (FIELD, 2009).

As variáveis independentes selecionadas foram a idade, MCT, estatura, CC, CQ e as dobras cutâneas: tricipital, bicipital, subescapular, abdominal, supra-ílica, coxa, axilar média, peitoral e panturrilha medial. Estas foram inseridas no modelo em um nível único sem distinção hierárquica entre elas.

Para determinar quais variáveis independentes estariam presentes no modelo final, foi utilizado o método passo a passo para frente. Neste método a fórmula é construída em etapas. Na primeira etapa, o modelo é construído apenas com uma constante e em cada etapa subsequente é inserida uma variável. A variável a ser inserida é aquela que promove melhor incremento no modelo entre as que ainda não estão presentes na equação. Em cada etapa também é testado se a remoção de alguma variável pode produzir melhoras no modelo. A técnica utilizada para inserção e remoção das variáveis foi a razão de verossimilhança, sendo estabelecido para a inserção  $p < 0,05$  e para a remoção  $p < 0,10$ . Por tratar-se de um método que prioriza inserção (método para a frente), é necessário que a inserção seja mais criteriosa que a remoção, o que justifica níveis de significância distintos com um valor inferior para a inserção (FIELD, 2009).

A descrição do modelo é realizada com base na etapa final, sendo citado o número de etapas necessárias. São apresentados os coeficientes e o erro padrão de cada variável e da constante. Cada coeficiente foi analisado pela estatística de Wald para determinar se eram diferentes de zero. Isto é importante, pois coeficientes estatisticamente iguais a zero indicam variáveis que não impactam significativamente no resultado final da equação. Assim, estas podem ser removidas reduzindo o erro do modelo sem acarretar em perda na capacidade de classificação. Desta forma, as variáveis que apresentaram valores estatisticamente iguais a zero foram removidas. Exceção será feita a constante, pois como não se trata de uma variável coletada não apresenta erros de medida e sua presença na equação final oferece melhorias na classificação, mesmo com um valor estatisticamente igual a zero (CHEN et al., 2008).

Para avaliar o ajuste do modelo foi escolhido o  $R^2$  de Negelkerke. A utilização de um modelo baseado em correlação facilita a comparação com outros modelos, em especial os escalares e especificamente os lineares. Porém, como a variável

dependente é categórica e apresenta associação logística com as variáveis independentes não há modelos lineares capazes de representar esse ajuste. Algumas análises tentam emular esta medida utilizada em regressões lineares e foi escolhido o  $R^2$  de Negelkerke por ser o que apresenta valores mais próximos aos seus equivalentes para regressões lineares (FIELD, 2009).

#### 2.4.3.2 Modelo escalar

Os indivíduos foram selecionados para o desenvolvimento deste modelo conforme os critérios de inclusão e exclusão apresentados na seção 2.3 sendo utilizados os dados dos 63 indivíduos avaliados.

O modelo foi construído por regressão linear multivariada. A variável dependente estabelecida foi a massa de gordura (MG). As variáveis independentes utilizadas foram a MCT, idade, sexo e as dobras cutâneas: tricipital; bicipital; supra-ílica; coxa; abdominal; panturrilha medial; e subescapular. Como o sexo é uma variável categórica ele foi inserido como uma variável dicotômica considerando o valor 1 para o masculino e 2 para o feminino.

Para evitar a multicolinearidade entre as variáveis escalares foi realizado um procedimento para selecionar as variáveis que participariam da regressão. Para isso foi aplicada a correlação de Pearson entre todas as variáveis independentes e também entre estas e a MG. A variável com maior correlação com a MG foi selecionada. Em seguida a seleção prosseguia com a variável com maior correlação com a MG, desde que esta não apresentasse correlação superior a 0,900 com alguma variável já selecionada. Após este procedimentos, a regressão ocorreu com as variáveis selecionadas sendo inseridas em um único bloco sem distinção hierárquica através do método passo a passo para frente. Neste método, a cada etapa uma variável é inserida, sendo esta selecionada a partir de sua capacidade de elevar significativamente o ajuste do modelo. A cada etapa também é verificada se a remoção de variáveis já inseridas pode causar melhorias. O critério estabelecido para estas verificações foi a ANOVA, considerando um  $p < 0,05$  para inserção e  $p < 0,10$  para a remoção.

Os valores influentes foram analisados pela distância de Cook, sendo estabelecidos que valores  $> 1$  são influentes. A verificação de casos discrepantes

ocorreu através do módulo dos resíduos padronizados. Estes são obtidos a partir do desvio padrão dos resíduos e, considerando uma distribuição normal e o tamanho da amostra, é esperado um número específico de casos em um dado desvio padrão. Desta forma, o número máximo de indivíduos com resíduo padronizado acima de 1,96s deve ser três (~5,0%). Deve haver no máximo um indivíduo (~1,0%) acima de 2,58s. E ninguém (~0,1%) deveria estar acima de 3,29s. A distribuição dos resíduos foi analisada pelo teste de Shapiro-Wilk (COOK; WEISBERG, 1982; FIELD, 2009).

A descrição do modelo é realizada pelo coeficiente e erro padrão de cada variável e da constante, coeficiente padronizado e coeficiente de correlação parcial para as variáveis. A validade do modelo foi analisada a partir do quadrado da correlação de Pearson ( $R^2$ ) entre os valores previstos pelo modelo e a variável dependente. Foi ainda calculado seu valor ajustado ( $R^2_{\text{ajustado}}$ ), que indica sua aplicabilidade em amostras diferentes. Foi ainda utilizado o erro padrão de estimativa, para indicar a precisão do modelo desenvolvido e o teste t simples para verificar se o coeficiente padronizado de cada variável difere significativamente de zero. Este procedimento não foi realizado com a constante, uma vez que esta não apresenta unidade de medida, logo não possui coeficiente padronizado. Foi considerando como nível de significância  $p < 0,05$  exceto quando informado diferente.

### 3 RESULTADOS

#### ARTIGO I

BERALDO, Lucas M.; GUIMARÃES, Inácio A.; ROMANELLI, Eduardo F. R.; ULBRICHT, Leandra. Avaliação da análise de composição corporal por equações baseadas em DXA entre adolescentes. In: XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2016, Foz de Iguaçu. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica**. Foz do Iguaçu: p 203-206, 2016.

#### ARTIGO II

RIPKA, Wagner L.; BERALDO, Lucas M.; ULBRICHT, Leandra; BUNGUM, Timothy; GEWEHR, Pedro M. Obesity in adolescents: assessment by DXA scan and skinfold thickness equation. **British journal of medicine & medical research**. v. 18, n.10, p. 1-9, 2016.

#### ARTIGO III

BERALDO, Lucas M.; CAMPOS, Mariana F.; GUIMARÃES, Inácio A.; ULBRICHT, Leandra. Modelagem matemática para determinação do excesso de gordura em adolescentes do sexo masculino através de regressão logística. In: XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais do XXV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica**. Foz do Iguaçu: p. 207-210, 2016.

#### ARTIGO IV

NEVES, Eduardo B.; BERALDO, Lucas M.; POL, Stéphanie de; COSTIN, Ana C. M. S.; CHIARELLO, Claudiana R.; ULBRICHT, Leandra. Mathematical model for body fat percentage of children with cerebral palsy. **Research on Biomedical Engineering**, v. 32, n. 4, p. 358-364, 2016.

## AVALIAÇÃO DA ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO CORPORAL POR EQUAÇÕES BASEADAS EM DXA ENTRE ADOLESCENTES

L. M. Beraldo\*, I. A. Guimarães\*\*, E.F.R Romanelli\*\*\* e L. Ulbricht\*

\*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Biomédica, UTFPR, Curitiba, Brasil

\*\*Departamento Acadêmico de Matemática, UTFPR, Curitiba, Brasil

\*\*\*Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, UTFPR, Curitiba, Brasil

e-mail: lucasberaldo@gmail.com

**Resumo:** O monitoramento da obesidade é realizado através da medição da gordura corporal. Esta, normalmente é realizada através de medidas antropométricas simples como dobras cutâneas e perímetros que constituem variáveis em equações que estimam a quantidade de gordura corporal. O objetivo do presente estudo foi utilizar a tecnologia da absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA) para determinar estes valores e analisar a concordância entre equações preditivas desta quantidade de gordura corporal entre adolescentes. Foram avaliados 567 indivíduos, de ambos os sexos, entre 10 e 18 anos. Esses foram submetidos a avaliação antropométrica por métodos tradicionais como dobras cutâneas e perímetro que foram convertidos em percentual de gordura por sete equações e os valores foram posteriormente comparados aos aferidos por DXA através do Coeficiente de Correlação e Concordância (CCC). Nenhuma das equações avaliadas obteve um valor adequado de concordância, sendo todos os CCC obtidos abaixo de 0,900. O valor mais elevado foi obtido pelas equações de Bray et al., com CCC de 0,812 e 0,808. Assim, as equações não demonstraram ser adequadas para a avaliação da gordura corporal na população estudada, sendo indicado o desenvolvimento de uma equação baseada na população brasileira e com uma quantidade expressiva de indivíduos.

**Palavras-chave:** percentual de gordura, DXA, dobras cutâneas, adolescentes, obesidade.

**Abstract:** *The monitoring of obesity is realized by body fat measurement. This is usually made by simple anthropometric measures like skinfolds or perimeters that are used as variables in equations that calculate some measure related to body fat. The aim of this study was to analyze the concordance between body fat predictive equations and values obtained by dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) in adolescents. There were evaluated 567 individuals, of both sexes, aged between 10 and 18 years. Those was submitted to anthropometric evaluation by traditional methods as skinfolds and perimetry that were converted in body fat percentage by seven equations and after compared to the measure from DXA by Concordance Correlation Coefficient (CCC). None of the evaluated equations obtained an adequate value of concordance been all the CCC below 0,900. The highest value was obtained by the equations of Bray et al.*

*with a CCC of 0,812 and 0,808. Thus, the equations have not proved suitable for the body fat evaluation, been indicated the development of an equation based in a Brazilian population with an expressive number of individuals.*

**Keywords:** *s body fat percentage, DXA, skinfolds, adolescents, obesity.*

### Introdução

A avaliação da quantidade de gordura corporal, é essencial no monitoramento da obesidade, especialmente na adolescência que vem sendo indicada como a fase crítica para a manifestação da doença [1].

O método padrão-ouro para a avaliação da quantidade de gordura corporal é a absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA) [2]. Porém, este método é caro, de aplicação laboratorial e emissor de radiação ionizante o que impede seu amplo uso. Uma alternativa é utilização de medidas antropométricas como perímetros e dobras cutâneas (DC). Neste sentido, estudos baseiam-se em métodos de grande exatidão para desenvolver equações, onde as variáveis são as medidas antropométricas, para gerar medidas relativas a quantidade de gordura corporal como o percentual de gordura (%G) [3,4].

As equações mais antigas, baseadas em pesagem hidrostática, já demonstraram falta de concordância em avaliações com DXA [5,6]. A partir dos anos 2000, com o avanço no uso da DXA, novas equações foram desenvolvidas baseadas na tecnologia [4]. Porém, ainda há uma lacuna na avaliação da eficiência destas equações em medir o %G, já que a validação cruzada é um procedimento pouco utilizado nos estudos.

A ausência de análises que avaliem a confiabilidade destas equações impede o seu uso, devido à incerteza do resultado da avaliação pelo desconhecimento de qual equação resultaria em um resultado mais exato, levando a erros diagnósticos. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi analisar a concordância entre equações preditivas da quantidade de gordura corporal e valores obtidos por DXA entre adolescentes brasileiros.

### Materiais e métodos

Este estudo é de natureza exploratória de recorte transversal. Participaram do estudo 567 indivíduos de ambos os sexos com idade entre 10 e 18 anos. Foi adotado como critério de exclusão a utilização de

medicamentos que continham cálcio, a realização de exame radiológico na semana anterior à data de avaliação e gestação ou suspeita de gravidez. A participação ocorreu após autorização por Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, esta pesquisa foi aprovada por Comitê de Ética em Pesquisa através da plataforma Brasil sob número: 11583113.7.0000.5547.

Todas as avaliações foram realizadas com os indivíduos utilizando trajes que não influenciavam nas medições e sem nenhum objeto de metal.

A idade foi determinada em anos. A Massa Corporal Total (MCT) foi aferida em kg com uma balança eletrônica Tanita (Arlington Heights, Estados Unidos). A medição da estatura, em m, ocorreu por meio de estadiômetro com os avaliados em plano de Frankfurt e em inspiração máxima.

As medidas de perímetria e DC ocorreram conforme determinação do *American College of Sports Medicine* [7]. Foram aferidas as medidas de Circunferência da Cintura (CC) e do quadril (CQ) com fita antropométrica inelástica WCS (Curitiba, Brasil), sendo estas apresentadas em cm. Utilizando o plicômetro científico Ceescorf (Porto Alegre, Brasil) foram aferidas em mm as DC: bicipital (Bi), panturrilha medial (Pm) e coxa (Cx).

O %G foi aferido por meio de DXA utilizando o densitômetro radiológico Hologic Discovery modelo QDR (Marlborough, Estados Unidos). A avaliação foi realizada por operadores treinados e seguindo as recomendações do fabricante.

As equações selecionadas para análise foram desenvolvidas com base em valores estabelecidos em DXA[8–12]. A equação de Flavel et al.[11] foi conduzida com amostras da Austrália e as demais com indivíduos dos EUA. A Tabela 1 indica o sexo e idade para qual cada equação é indicada, bem como a quantidade de pessoas utilizadas no desenvolvimento e o  $R^2$  obtido que indica a aderência do modelo. Ainda é apontado o valor da média do %G da amostra utilizada, exceto para a equação de Huang et al.[12] que não apresenta este dado.

Tabela 1: Dados indicados nos estudos de desenvolvimento das equações

Equações	Sexo	Idade	n	R <sup>2</sup>	%G
Ellis[8]	M	3-18	74	0,55	22,9 <sup>a</sup>
Ellis et al.[9]	F	3-18	68	0,95	34,6 <sup>b</sup>
Bray et al.[10]a	M-F	10-12	129	0,91	25,9(M)
Bray et al.[10]b		10-12		0,89	27,0 (F)
Flavel et al.[11]	F	6-17	33	0,93	30,6
Huang et al.[12]a	M	7-13	64	0,92	35,7 <sup>c</sup>
Huang et al.[12]b	F	7-13			

a: considerando a faixa etária de 10 a 18 anos; b: considerando a faixa etária de 11 a 18 anos; c: valor obtido a partir da divisão das medianas de massa de gordura e massa total.

As equações que foram testadas são apresentadas na Tabela 2. Aquelas que indicam os valores de massa de gordura (MG) tiveram os valores convertidos para %G através da divisão pela MCT. Devido as diferenças de idade e sexo para qual as equações são destinadas, as análises estatísticas ocorreram considerando apenas o grupo para qual cada equação é apropriada. Para as equações de Ellis[8] e Ellis et al.[9] foram escolhidas as destinadas à população hispânica por terem demonstrado melhores resultados com amostra semelhante à adotada no estudo [13].

Tabela 2: Equações analisadas

Equação	
Ellis[8]	$MG=0,591*MCT-1,82*Idade+3,36$
Ellis et al.[9]	$MG=0,677*MCT-21,7*Estatura+15,5$
Bray et al.[10]a	$\%G=7,26+0,77*Bi+0,36*Pm+0,25*Cx$
Bray et al.[10]b	$\%G=9,02+1,09*Bi+0,42*Pm$
Flavel et al.[11]	$\%G=11,03+0,93*IMC+0,3*CC-24,0*Estatura+0,48*Pm+0,07*CQ$
Huang et al.[12]a	$MG=0,665*MCT-1,606*Idade+1,448$
Huang et al.[12]b	$MG=0,665*MCT-1,606*Idade+3,330$

MG: Massa de Gordura; MCT: Massa Corporal Total; Bi: dobra cutânea bicipital; Pm: dobra cutânea da panturrilha medial; Cx: dobra cutânea da coxa; IMC: Índice de Massa Corporal; CC: Circunferência da Cintura; CQ: Circunferência do Quadril.

As análises estatísticas foram realizadas no SPSS v21.0. A análise descritiva foi realizada através de medidas de média, desvio padrão e valores máximos e mínimos. A análise da concordância das equações com o referencial obtido pela DXA foi realizada pelo Coeficiente de Correlação e Concordância (CCC) [14].

## Resultados

Os dados descritivos da amostra são apresentados na Tabela 3, sendo que a idade e o IMC dos avaliados foram semelhantes entre os sexos e o %G se mostrou distinto.

Tabela 3: Dados descritivos da amostra total e estratificado por sexo.

	Masculino	Feminino	Total
Idade	15,4±1,7	15,1±2,0	15,3±1,8
IMC	21,3±3,6	22,4±4,1	21,6±3,8
%G	20,6±6,0	33,5±5,3	24,4±8,3

A concordância entre as equações avaliadas e a avaliação por DXA está exposta na Tabela 4 e na Figura

1. Os melhores resultados foram obtidos pelas equações de Bray et al.[10]a e Bray et al.[10]b, destinadas a ambos os sexos com CCC de 0,812 e 0,808 respectivamente.

A equação de Ellis[8] obteve o pior resultado (CCC=0,348) chegando a indicar valores negativos de %G. Indivíduos com valores próximos a 20% de %G apresentaram uma grande variação de valores segundo a equação. Houve uma tendência à subestimação dos valores, especialmente em indivíduos com %G maior.

Tabela 4: Concordância entre a avaliação por DXA e as equações analisadas.

	CCC (IC95%)	
Ellis[8]	0,348	(0,271-0,421)
Ellis et al.[9]	0,739	(0,664-0,800)
Bray et al.[10]a	0,812	(0,741-0,864)
Bray et al.[10]b	0,808	(0,728-0,866)
Flavel et al.[11]	0,653	(0,585-0,712)
Huang et al.[12]a	0,465	(0,297-0,605)
Huang et al.[12]b	0,683	(0,527-0,795)

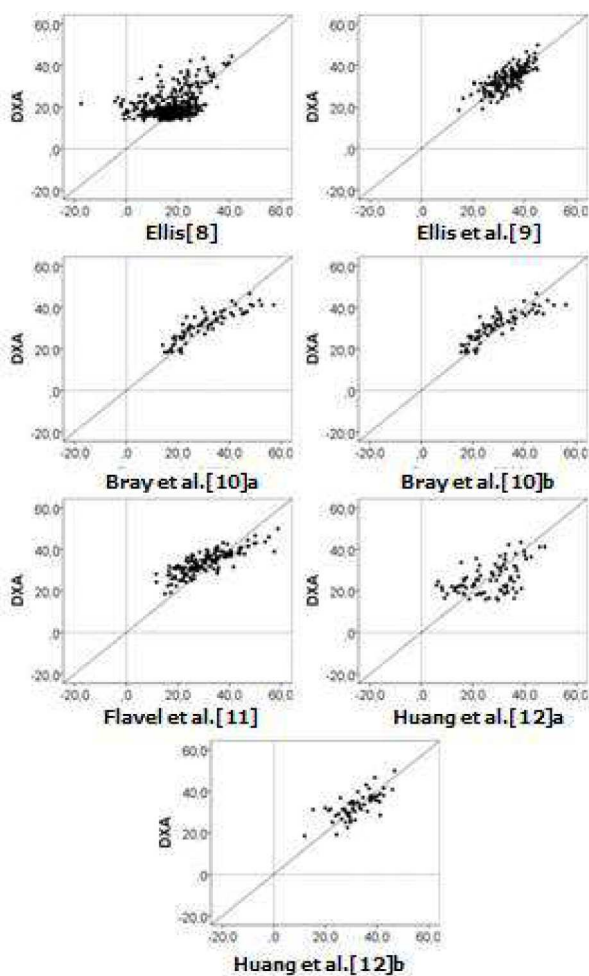


Figura 1: Gráficos de dispersão entre os valores indicados por DXA e as equações com a linha de concordância como referência.

As equações que utilizam medidas obtidas por DC (Bray et al.[10]a; Bray et al.[10]b; e Flavel[11]) apresentaram tendência em subestimar o %G em indivíduos mais magros e superestimar nos com mais gordura. Sendo esta tendência mais evidente na equação de Flavel et al.[11].

## Discussão

O %G apresentado pela amostra, considerando a distinção entre os sexos, mostrou-se próximo aos apresentadas nas amostras de Ellis [8], Ellis et al.[9] e Flavel et al.[11]. No estudo de Bray et al. [10], o %G apresentado foi superior para o sexo masculino e inferior para o feminino. A comparação com os valores obtidos por Huang et al.[12] foi dificultada pois os autores não apresentaram a média de %G para cada sexo. Ainda assim, o valor de tendência central indicado está acima do apresentado pelo sexo feminino, sendo que 62,5% amostra era composta pelo sexo masculino [12].

Quanto ao CCC, esta medida de correlação foi escolhida para este estudo por ser mais rigorosa que modelos tradicionais como a correlação de Pearson e Spearman [14]. Em estudos que desenvolveram modelos preditivos da quantidade de gordura corporal e utilizaram o  $R^2$  e o CCC para a análise, os valores se mostraram próximos sendo o CCC ligeiramente superior [15,16]. Desta forma, parece que o  $R^2$  apresentado no desenvolvimento da equação é um bom valor de referência para a análise do CCC. Considerando que, em geral, valores de  $R^2$  inferiores a 0,90 não indicam um bom ajuste da equação, este também é um ponto de corte adequado para o CCC. Com base neste valor, nenhuma equação apresentou um valor adequado de CCC.

A equação de Flavel et al.[11] que possui diferentes tipos de medidas antropométricas, inclusive perímetros e DC apresentou uma concordância ainda inferior à apresentada pelas equações de Ellis et al.[9] e Huang et al.[12]b, que utilizam MCT, estatura e idade. Isto pode indicar que as medidas incluídas na equação não são o fator mais impactante na qualidade do modelo desenvolvido.

A equação de Ellis[8] já havia apresentado o pior ajuste no desenvolvimento do modelo preditivo, com um  $R^2=0,55$ , enquanto que, entre as demais, o ajuste de valor inferior foi obtido pela equação de Bray et al.[10] com  $R^2=0,89$ .

Ao considerar a quantidade de pessoas utilizadas no desenvolvimento da equação, esta parece estar associada com a concordância verificada. As equações de Bray et al.[10] utilizaram o maior número de pessoas ( $n=129$ ) e apresentaram a maior concordância. Enquanto a equação de Flavel et al.[11] utilizou apenas 33 indivíduos no seu desenvolvimento. Um número reduzido de pessoas (amostras inferiores a 100 pessoas) pode explicar a baixa concordância, provavelmente devido à baixa variabilidade da amostra.

Considerando a proposta nenhuma equação apresentou um valor adequado de concordância com a DXA. Sendo que este baixo rendimento talvez deva-se a



diferenças étnicas entre as populações em que as equações se baseiam e a brasileira, ou ao número reduzido de indivíduos utilizados no desenvolvimento das mesmas [4,17,18].

### Conclusão

As equações não demonstraram ser adequadas para a avaliação da quantidade de gordura corporal na população estudada, assim a utilização de qualquer uma delas levaria a erros diagnósticos o que comprometeria a adoção de um tratamento precoce para os indivíduos que foram subestimados ou a tratamentos desnecessários, para indivíduos que tiveram seus valores superestimados.

Por isso, é de fundamental importância o desenvolvimento de uma equação baseada na população brasileira e com uma quantidade expressiva de indivíduos, que seja capaz de determinar um diagnóstico eficaz para subsidiar uma escolha terapêutica adequada.

### Agradecimentos

Decit/SCTIE/MS por intermédio do CNPq, apoio da Fundação Araucária e SESA-PR.

### Referências

- [1] W. L. Conde and C. Borges. O risco de incidência e persistência da obesidade entre adultos brasileiros segundo seu estado nutricional ao final da adolescência. *Revista Brasileira de Epidemiologia*. 2011,14(1):71–79.
- [2] C. E. Boeke, E. Oken, K. P. Kleinman, S. L. Rifashiman, E. M. Taveras, and M. W. Gillman. Correlations among adiposity measures in school-aged children. *BMC Pediatrics*. 2013, 13(99):1–8.
- [3] D. P. Guedes. Procedimentos clínicos utilizados para análise da composição corporal. *Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano*. 2013, 15(1):113–129.
- [4] A. M. Silva, D. A. Fields, and L. B. Sardinha. A PRISMA-Driven Systematic Review of Predictive Equations for Assessing Fat and Fat-Free Mass in Healthy Children and Adolescents Using Multicomponent Molecular Models as the Reference Method. *Journal of Obesity*. 2013, 148696:1–14.
- [5] P. V. S. Moreira, A. M. Silva, L. F. Crozara, A. P. Veloso, and F. Vieira. Análise de equações preditivas da gordura corporal em jovens atletas de 'taekwondo'. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. 2012, 26(3):391–399.
- [6] S. S. Habib. Body Mass Index and Body Fat Percentage in Assessment of Obesity Prevalence in Saudi Adults. *Biomedics and Environmental Science*. 2013, 26(2):94–99.
- [7] American College of Sports Medicine, ACSM's guidelines for exercises testing and prescription. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2010.
- [8] K. J. Ellis. Body composition of a young, multiethnic male population. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1997, 66:1323–1331.
- [9] K. J. Ellis, S. A. Abrams, and W. W. Wong. Body composition of a young, multiethnic female population. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1997, 65:724–731.
- [10] G. A. Bray, J. P. DeLany, J. Volaufova, D. W. Harsha, and C. Champagne. Prediction of body fat in 12-y-old African American and white children: evaluation of methods. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2002, 76(5):980–990.
- [11] N. A. Flavel, T. S. Olds, J. D. Buckley, M. T. Haren, and J. Petkov. Anthropometric estimates of total and regional body fat in children aged 6–17 years. *Acta Paediatrica*. 2012, 101(12):1253–1259.
- [12] T. T.-K. Huang, M. P. Watkins, and M. I. Goran. Predicting total body fat from anthropometry in Latino children. *Obesity Research*. 2003, 11(10):1192–1199.
- [13] J. D. Modesto, L. M. Beraldo, and L. Ulbricht. Avaliação do sobrepeso por modelos baseados em massa, estatura e idade em adolescentes do sexo masculino. In: *Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica*, 2014 Out 13–17; Uberlândia, Brasil. 2014. p. 130–33.
- [14] L. I.-K. Lin. A Concordance Correlation Coefficient to Evaluate Reproducibility. *Biometrics*. 1989, 45(1):255–268.
- [15] T. Midorikawa, M. Ohta, Y. Hikiyama, S. Torii, M. G. Bembem, and S. Sakamoto. Predicting total fat mass from skinfold thicknesses in Japanese prepubertal children: a cross-sectional and longitudinal validation. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2011, 20(3):426–431.
- [16] T. Midorikawa, M. Ohta, Y. Hikiyama, S. Torii, M. G. Bembem, and S. Sakamoto. Prediction and validation of total and regional fat mass by B-mode ultrasound in Japanese pre-pubertal children. *British Journal of Nutrition*. 2011, 106(6):944–50.
- [17] L. Sletner, B. Nakstad, C. S. Yajnik, K. Mørkrid, S. Vangen, M. H. Vårdal, I. M. Holme, K. I. Birkeland, and A. K. Jenum. Ethnic differences in neonatal body composition in a multi-ethnic population and the impact of parental factors: a population-based cohort study. *PLoS One*. 2013, 8(8):e73058.
- [18] N. T. Tuan and Y. Wang. Adiposity assessments: agreement between dual-energy X-ray absorptiometry and anthropometric measures in U.S. children. *Obesity (Silver Spring)*. 2014 22(6):1495–504.



## Obesity in Adolescents: Assessment by DXA Scan and Skinfold Thickness Equations

Wagner L. Ripka<sup>1\*</sup>, Lucas M. Beraldo<sup>2</sup>, Leandra Ulbricht<sup>2</sup>, Timothy Bungun<sup>3</sup>  
and Pedro M. Gewehr<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate Program in Electrical and Computer Engineering, Federal University of Technology-Paraná, Brazil.

<sup>2</sup>Graduate Program in Biomedical Engineering, Federal University of Technology-Paraná, Brazil.

<sup>3</sup>Department of Environmental and Occupational Health, University of Nevada, Virginia, USA.

### Authors' contributions

This work was carried out in collaboration between all authors. Authors WLR, LMB and LU performed the statistical analysis, designed the study, wrote the first draft and managed the literature searches. Authors TB and PMG revised the manuscript and designed. All authors read and approved the final manuscript.

### Article Information

DOI: 10.9734/BJMMR/2016/30131

#### Editor(s):

(1) Domenico De Berardis, Department of Mental Health, National Health Service, Psychiatric Service of Diagnosis and Treatment, "G. Mazzini" Hospital, Italy.

#### Reviewers:

(1) Ayhan Goktepe, Selcuk University, Konya.

(2) Claudiu Popescu, Carol Davila University, Bucharest, Romania.

Complete Peer review History: <http://www.sciencedomain.org/review-history/16895>

Original Research Article

Received 18<sup>th</sup> October 2016  
Accepted 7<sup>th</sup> November 2016  
Published 11<sup>th</sup> November 2016

### ABSTRACT

**Aim:** This study aimed to compare obesity, estimated percentage of fat in adolescents in Brazil, using Dual-Energy X-Ray Absorptiometry (DXA) with skinfold data that were entered into mathematical models.

**Study Design:** This research is a cross-sectional, descriptive study.

**Place and Duration of Study:** Participants were randomly selected from a pool of 525 students. It was conducted employing a sample with students from elementary and high schools in Curitiba - Paraná - Brazil (December - 2013 to December 2014).

**Methodology:** Two hundred seventy two adolescents were evaluated (199 males and 73 females), ages 12 to 17.9 years. The percentage of body fat (%BF) has been calculated using five skinfold thickness equations: Slaughter; Boileau, Lohman and Slaughter; Durnin and Rahaman;

\*Corresponding author: E-mail: [ripka.w@gmail.com](mailto:ripka.w@gmail.com);

Parizkova; Deurenberg, Weststrate and Seidell. They have been specifically applied to each gender, and compared to the reference method, DXA.

**Results:** The results show that despite all equations producing statistically significant correlations, none demonstrated agreement with DXA in a Bland-Altman plot. Sensitivity analyses showed a range of 37.3 to 77.7 for males and 21.2 to 69.2% for females, The Parizkova equation presented the best results in both genders.

**Conclusion:** It was concluded that mathematical modeling for skinfold-thickness among Brazilian adolescents for estimate %BF must be improved.

*Keywords: Body composition; skinfold thickness; dual-energy X-ray absorptiometry; adolescents.*

## 1. INTRODUCTION

Obesity has been shown to be one of the main risk factors for the manifestation of chronic diseases such as dyslipidemia, hypertension and diabetes [1]. This situation deserves greater attention among children and adolescents, because those who are obese, or present as overweight during childhood and adolescence, tend to become obese adults [2].

Different methods have been employed in the assessment of overweight and obesity [3]. In epidemiological research, for example, it is common to use methods such as Body Mass Index (BMI) which is simple and practical in its application, but is limited in its ability to determine fat mass, and fat-free mass [4].

The most accurate laboratory techniques for assessing body composition include: ultrasound [3], plethysmography [5], hydrostatic weighing [6] and dual-energy x-ray absorptiometry (DXA) [6,7]. The DXA technology is currently the most prominent because it is able to measure the density of muscle, fat mass and bone content with high accuracy. Because of this it is considered to be a reference methodology [6,8].

The fundamental principle of DXA is high energy photons attenuation by soft tissues and bones. An internal algorithm then calculates the amount of emitted and sensitized radiation by the detector after transposing the subject [6]. However, due to high cost, the method is still little used in the detection of obesity.

Considering the need for low cost and ease of use, skinfold measurements are often used, a method which is widely used for individuals and small groups to differentiate fat free mass and body fat mass [9,10]. The measurement of skinfold thickness involves the pinching of skin and measuring subcutaneous fat by use of a

caliper. However, this technique has limitations because the mathematical models used to calculate body composition, especially among adolescents, frequently produce wide ranges of body fat percentage (%BF) for the same person [9].

The equations most commonly used for adolescents were developed over 20 years ago [11-13], which is a time period when there was a different obesity prevalence rate among children and adolescents [4]. Additionally there have been changes in physical activity behavior in this population since the formulation of these equations. These issues raise doubts about the accuracy of the results.

The purpose of this study was to compare different mathematical models that use skinfold thickness to assess body fatness among male and female adolescents with, DXA.

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Recruitment

This research is a cross-sectional, descriptive study. It was conducted employing a sample with students from elementary and high schools in Curitiba - Paraná – Brazil (December – 2013 to December 2014). Participants were randomly selected from a pool of 525 students. We accepted those students who did not use medicines containing calcium and had not been submitted to radiography / computed tomography in the seven days preceding the assessment. Overall, 272 students were assessed, all were of white.

### 2.2 Evaluated Protocol

The total body mass was measured using standard techniques through a Tanita electronic scale with a capacity of 150 kg and resolution

of 0.1 kg. For height, a stadiometer with resolution of 0.1 cm was used (WCS, Curitiba, Brazil).

Body composition was assessed by DXA using Hologic QDR Discovery scanner fan-beam, scanning type (Hologic, Inc., Bedford, MA, USA). The DXA assessment is based on the emission of x-rays of low and high energy (40kV and 70kV, respectively). The total scan time was 5 minutes. The BF% was provided using specific software for adolescents presented in DXA equipment. All evaluations were performed in Biochemical and Densitometry Laboratory in Federal University of Technology–Paraná.

The measurements of skinfolds, triceps (T), subscapular (Sb), biceps (B), suprailiac (Sp), and medial calf (MC), were collected using a scientific caliper which has a resolution of 0.1 mm (Cescosrf, Brazil). Each fold was measured three times and the average of the values was used. The measures were taken by two researchers. The intra and inter-rater values of the measurements differed by 0.54% and 1.20%, respectively. Triceps measurement was obtained at the level of the mid-point between the acromiale and the radiale. The subscapular measure was taken at the lower angle of the scapula. The suprailiac measurement was obtained by measuring the lateral fold above the pelvic bone. Medial calf was measured at the point on the medial (inside) surface of the calf at the level of the largest circumference.

Initially, a literature review was conducted in the MEDLINE database (National Library of Medicine). To locate appropriate research papers

the key words, “estimate the percentage of fat” (%BF) was entered. That procedure identified 68 research papers, but only six that had equations for both genders. The six papers were: Slaughter et al. [11], Boileau, Lohman and Slaughter [13], Durnin and Rahaman [12], Parizkova [14], Deurenberg, Weststrate and Seidell [15]. For the equation of Durnin and Rahaman and Parizkova it was necessary to use the equation of Siri [16] to convert body density in %BF. The equations used are shown in Table 1.

### 2.3 Data Analysis

Statistical analysis was made by descriptive presentation of the mean ± standard deviation values. Data normality was made using the Kolmogorov-Smirnov test. The validity of the proposed mathematical models was tested with the Pearson correlation. A paired t-test was used to estimate BF% measurements compared with DXA; total error (TE) and standard error of estimate (SEE) following the recommendations of Lohman [17] and agreement test between equations and DXA, was analyzed by the Bland-Altman test [18]. Cut points of SEE and TE < 3.5 [17] and statistical significance of p < 0.05 were used.

Sensitivity and specificity were estimated using %BF as reference of DXA. High % body fat was defined as ≥ 25% in adolescents males and ≥ 30% in females [19].

The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS Inc. Released 2008. SPSS Statistics for Windows, Version 17.0. Chicago: SPSS Inc.), was used for all calculations.

**Table 1. Generalized equations for body density and body fat percentage**

Equation	Author	Gender	Equation
1	Slaughter et al. [11]	M	%BF = 0.735*(T+MC)+1
		F	%BF = 0.61*(T+MC)+5.1
2	Durnin and Rahaman [12]	M	D = 1.1533-0.0643*log(B+T+Sb+Sp)
		F	D = 1.1369-0.0598*log(B+T+Sb+Sp)
3	Boileau, Lohman and Slaughter [13]	M	%BF = 1.35*(T+Sb)-0.012*(T+Sb) <sup>2</sup> -4.4
		F	%BF = 1.35*(T+Sb)-0.012*(T+Sb) <sup>2</sup> -2.4
4	Parizkova [14]	M	D=1.130-0.055*log(T)-0.026*log(Sb)
		F	D=1.114-0.031*log(T)-0.041*log(Sb)
5	Deurenberg, Weststrate and Seidell [15]	M/F (a)	%BF=1.51*(BMI)-0.70*(Age)-3.6*(G)+1.4
		M/F (b)	%BF= 1.2*(BMI)+0.23*(Age)-10.8*(G)-5.4
6	Siri [16]	M/F	%BF=(495/D)-450

Where: M = Male; F = Female; %BF = Percentage Body Fat; D = Corporal Density; T = Triceps Fold; MC = Medial Calf Fold; B = Biceps Fold; Sb = Subscapular Fold; Sp = Suprailiac Fold; BMI = Body Mass Index; G = Gender, Male = 1, Female = 0; (a) age <15 (b) age >14.9

### 3. RESULTS

Table 2 describes the sample. It shows the means, standard deviations, minimum and maximum of age, body weight, height, and %BF as measured by the equations Slaughter et al. (Eq. 1), Durnin and Rahaman (Eq. 2), Boileau, Lohman and Slaughter (Eq. 3), Parizkova (Eq. 4), Deurenberg, Weststrate and Seidell (Eq. 5) and DXA. The sample was homogeneous for all variables.

The values for the validity of the equations to estimate body fat with reference to DXA are shown in Table 3. Significant correlations were observed for all equations, however, it was noted that the use of skinfold techniques tend to underestimate the value obtained in DXA in all situations, except for %BF<sub>Eq. 4</sub> - male.

Figs. 1, 2, 3, 4 and 5 illustrate the agreement analysis of Bland-Altman between the

mathematical models and the DXA technique. Significant bias was found in all models ( $p < 0.05$ ).

Table 4 shows the values of sensitivity and specificity of the equations in the classification of normality and overweight in adolescents. Notice that the equations present a high degree of specificity in both genders and low values of sensitivity. All of the equations were effective at determining if a person was not obese, but all were poor at identifying if both males and females were obese.

### 4. DISCUSSION

Body composition reflects nutritional status and may assist patients in numerous clinical conditions [20]. Around 50% of body mass and 20%-25% of height are acquired during adolescence, therefore monitoring growth and development are important so that health professionals can guide people in health-related actions [21].

**Table 2. Descriptive characteristics of the sample according to age, body weight, height and %BF**

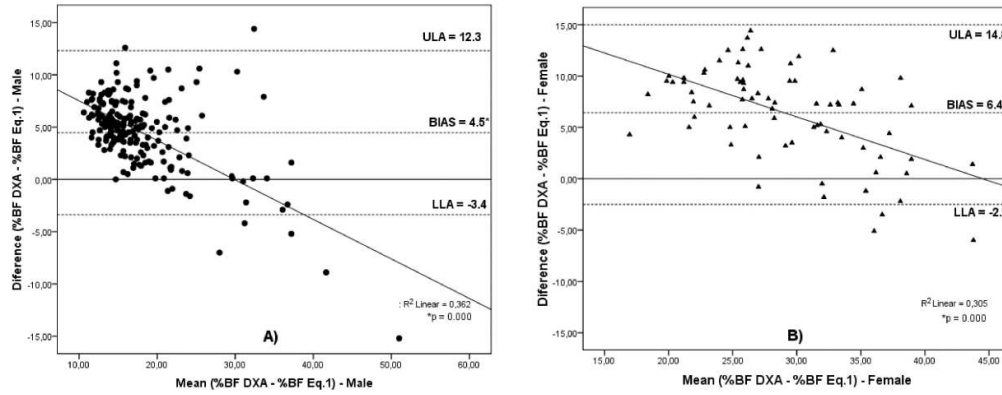
Variables	Male			Female		
	Mean	Minimum	Maximum	Mean	Minimum	Maximum
N		199		73		
Age (years)	15.1 ± 1.5	12	17	14.8 ± 1.7	12	17
Weight (kg)	61.8 ± 11.3	30.5	104.6	56.1 ± 11.0	33.0	83.5
Height (m)	1.70 ± 0.1	1.35	1.89	1.60 ± 0.1	1.43	1.75
%BF <sub>Eq.1</sub>	15.8 ± 7.7	7.1	58.6	25.8 ± 7.5	14.2	46.8
%BF <sub>Eq.2</sub>	19.2 ± 5.6	10.5	37.4	29.2 ± 4.8	20.2	39.5
%BF <sub>Eq.3</sub>	17.4 ± 6.4	8.0	33.5	27.0 ± 6.0	15.1	35.6
%BF <sub>Eq.4</sub>	21.1 ± 6.4	10.5	41.5	30.9 ± 5.5	20.4	42.1
%BF <sub>Eq.5</sub>	16.8 ± 4.9	6.4	32.8	24.7 ± 5.8	15.0	49.1
%BF <sub>DXA</sub>	20.3 ± 5.4	14.4	38.0	32.2 ± 5.1	19.1	44.4

**Table 3. Validity of mathematical models for estimating body fat compared with DXA**

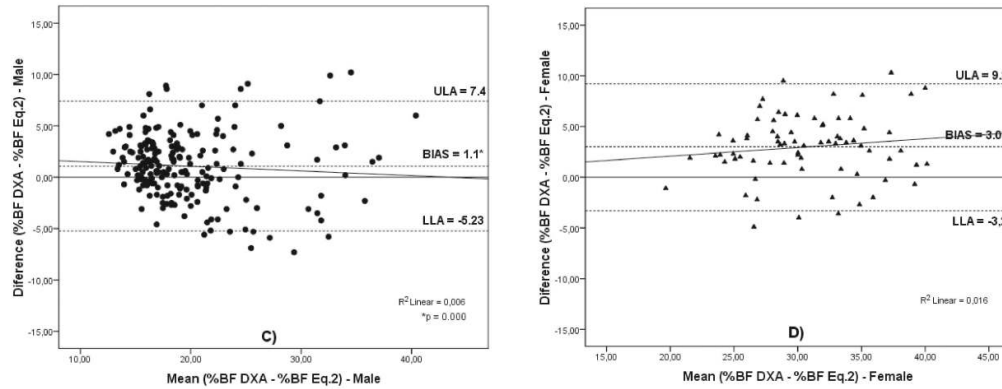
Equation	Mean	r	t	CE	TE	SEE
%BF <sub>Eq.1</sub>	15.8 ± 7.7	0.87*	15.72*	4.46	5.99	3.82
%BF <sub>Eq.2</sub>	19.2 ± 5.6	0.83*	4.72*	1.07	3.38	3.15
%BF <sub>Eq.3</sub>	17.4 ± 6.4	0.80*	10.65*	2.90	4.81	3.85
%BF <sub>Eq.4</sub>	21.1 ± 6.4	0.84*	-3.24*	-0.79	3.54	3.47
%BF <sub>Eq.5</sub>	16.8 ± 4.9	0.60*	10.65*	3.48	5.77	3.91
%BF <sub>DXA</sub>	20.3 ± 5.4					
<b>Female</b>						
%BF <sub>Eq.1</sub>	25.8 ± 7.5	0.81*	12.10*	6.42	7.85	4.42
%BF <sub>Eq.2</sub>	29.2 ± 4.8	0.80*	8.07*	2.99	4.34	2.86
%BF <sub>Eq.3</sub>	27.0 ± 6.0	0.82*	12.95*	5.18	6.24	3.43
%BF <sub>Eq.4</sub>	30.9 ± 5.5	0.81*	3.43*	1.30	3.52	3.23
%BF <sub>Eq.5</sub>	24.7 ± 5.8	0.63*	13.60*	7.60	8.91	4.51
%BF <sub>DXA</sub>	32.2 ± 5.1					

(r) Coefficient correlation; (t) t-test paired; (CE) Constant error; (TE) Total error; (SEE) Standard error of estimate;

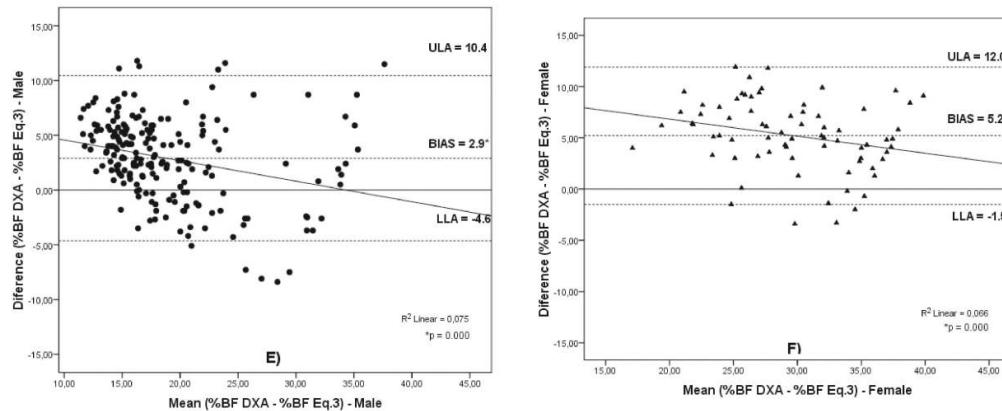
\*  $p < 0.05$



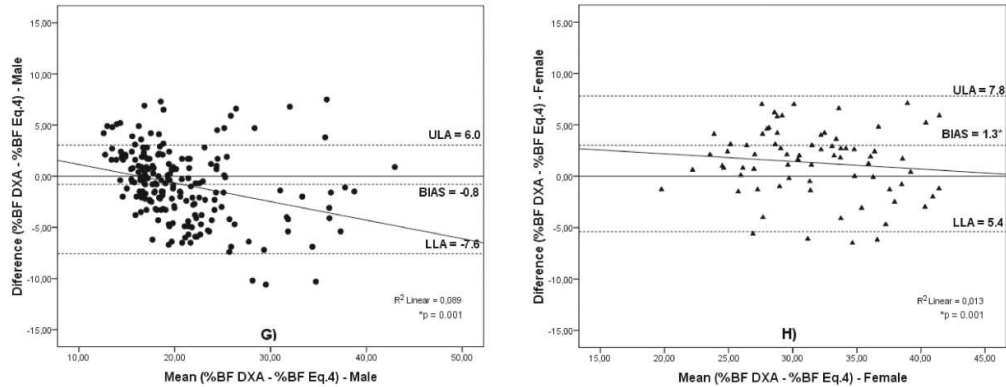
**Fig. 1. A) Bland-Altman analysis of agreement %BF<sub>DXA</sub> - %BF<sub>Eq.1</sub> Male. B) Female. (ULA) Upper Limit of Agreement; (LLA) Lower Limit of Agreement; \*P < 0.05**



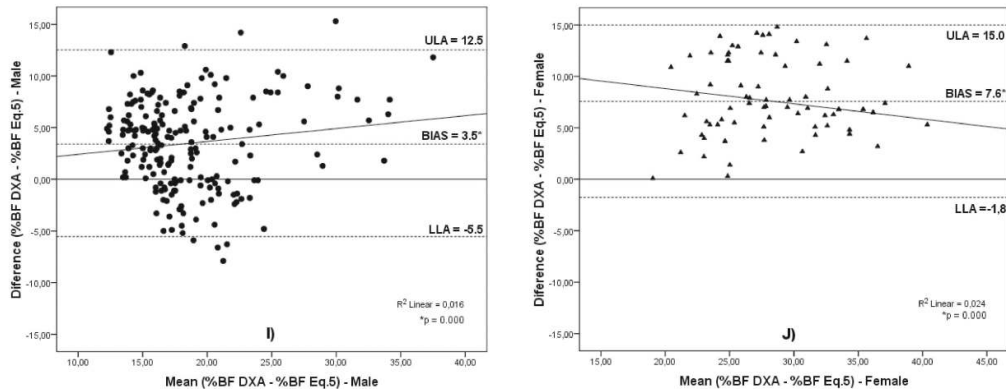
**Fig. 2. C) Bland-Altman analysis of agreement %BF<sub>DXA</sub> - %BF<sub>Eq.2</sub> Male. D) Female. (ULA) Upper Limit of Agreement; (LLA) Lower Limit of Agreement \*P < 0.05**



**Fig. 3. E) Bland-Altman analysis of agreement %BF<sub>DXA</sub> - %BF<sub>Eq.3</sub> Male. F) Female. (ULA) Upper Limit of Agreement; (LLA) Lower Limit of Agreement \*P < 0.05**



**Fig. 4. G) Bland-Altman analysis of agreement %BF<sub>DXA</sub> - %BF<sub>Eq.4</sub> Male. H) Female. (ULA) Upper Limit of Agreement; (LLA) Lower Limit of Agreement**  
\*P < 0.05



**Fig. 5. I) Bland-Altman analysis of agreement %BF<sub>DXA</sub> - %BF<sub>Eq.5</sub> Male. J) Female. (ULA) Upper Limit of Agreement; (LLA) Lower Limit of Agreement**  
\*P < 0.05

**Table 4. Sensibility and specificity for equations in male and female**

Equation	Sensitivity / Specificity	
	Male	Female
Eq. 1	62.9% / 99.4%	38.5% / 100%
Eq. 2	70.4% / 95.9%	55.8% / 95.2%
Eq. 3	67.0% / 96.0%	48.1% / 95.2%
Eq. 4	77.7% / 88.9%	69.2% / 95.2%
Eq. 5	37.3% / 98.8%	21.2% / 100%

The results indicate that there are strong statistically significant correlations between the body fat equations and DXA for both genders, but when comparing the standard deviations and the averages, they show that these equations have a tendency to underestimate %BF related to those produced by DXA (Table 2), except for %BF<sub>Eq.4</sub> male. These findings are similar results are reported in the literature [22-24].

As stated previously, the Slaughter et al. equation is most commonly used [22]. In the present study Slaughter et al. equation was also the one that showed the strongest correlation with DXA for males, however it presented lowest Bland-Altman agreement to this gender.

According to the literature, values below 3.5 for TE and SEE are acceptable. The only equation to reach this criteria was the %BF<sub>Eq.2</sub> in males (Table 3). As for the SEE, %BF<sub>Eq.2</sub> and %BF<sub>Eq.4</sub> and was value above 3.5 in both genders and %BF<sub>Eq.3</sub> for females. Cunha [25] found %BF<sub>Eq.1</sub> of 3.2 and 2.7 for males and females respectively.

Disagreements in %BF have been investigated by Bland-Altman [8,22,26]. Among both genders, there is better agreement for estimation of body fat in male for %BF<sub>Eq.4</sub> (0.8 / 1.3) and %BF<sub>Eq.2</sub> (1.1 / 3.0). The results that are closer to those

found using  $\%BF_{DXA}$  can be explained by the lower  $\%BF$  in males, who have smaller skinfold thickness that are more easily measured [27].

The skinfold technique is a low-cost, noninvasive, easy to use and affordable way to evaluate the body fat of large groups [28]. That method requires only limited training and can be used, for example, for the detection of cardiovascular risk [29], but the inappropriate choice of the equations for  $\%BF$  prediction can result in unreliable conclusions [8,22,27,28].

However, it was noted that, despite being an appropriate choice for adolescents, the results do not meet scientific standards. Whether the morphological changes that have affected the global population of adolescents is the main factor for the test t failures of these equations is not known [30].

Sensitivity and specificity were calculated to assess the degree of efficiency of five equations. The sensitivity was best in  $\%BF_{Eq.4}$  followed by  $\%BF_{Eq.2}$  for males and females. However neither produced good or excellent discrimination.

The high specificity and low sensitivity shown in Table 4 indicate that the equations are weak instruments for evaluation of overweight and obesity in adolescents.

The strong points in our study include the representative adolescent sample and use of DXA as the reference method of body composition assessment. The limitations mainly refer the low number of specific equations for the age group from 12 to 17.9 years old (confirming the difficulty of assessing the percentage of fat in this age group) and not considering the sexual maturity of the adolescents.

## 5. CONCLUSION

In conclusion, none of predictive mathematical models of body composition available in the literature obtained satisfactory results when compared to DXA. The percentage of fat was underestimated in all cases except for males in Eq. 4.

It was noticed that, although presenting strong correlations, anthropometric equations have not achieved strong agreement with DXA methodology, as seen in the Bland-Altman analysis. These results point to the need to create new equations, corrections of existing

ones, as well as more studies comparing doubly indirect methods with more efficient technologies such as DXA.

As can be seen in the sensitivity and sensibility analysis, the equations of Parizkova and Durnin and Rahaman present acceptable levels in the detection of overweight and obesity in adolescents. In Brazil, approximately 70% of the population use the public health system, therefore, equations available to healthcare professionals with results that are close to reality in terms of body fat are fundamental to early diagnose obesity. Thus, the results support the need to create new equations for estimating body composition in adolescents.

## CONSENT

All authors declare that 'written informed consent was obtained from the patient for publication of this paper and accompanying images'.

## ETHICAL APPROVAL

All authors hereby declare that all experiments have been examined and approved by the appropriate ethics committee and have therefore been performed in accordance with the ethical standards laid down in the 1964 Declaration of Helsinki. This research was submitted to the Ethics Committee of the Federal University of Technology - Paraná and has been approved under the number 11583113.7.0000.5547.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Authors thank to Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), National Counsel of Technological and Scientific Development (CNPq), Fundação Araucária, and Laboratório Bioquímico e Densitométrico (LABDEN), and Federal University of Technology - Paraná (UTFPR) for financial support.

## COMPETING INTERESTS

Authors have declared that no competing interests exist.

## REFERENCES

1. Goldfield GS, Saunders TJ, Kenny GP, Hadjiyannakis S, Phillips P, Alberga AS, et al. Screen viewing and diabetes risk



- factors in overweight and obese adolescents. *American Journal of Preventive Medicine*. 2013;44(4):S364-S70.
2. Reilly J, Kelly J. Long-term impact of overweight and obesity in childhood and adolescence on morbidity and premature mortality in adulthood: systematic review. *International Journal of Obesity*. 2010; 35(7):891-8.
  3. Ulbricht L, Neves EB, Ripka W, Romaneli EFR. Comparison between body fat measurements obtained by portable ultrasound and caliper in young adults. In: IEEE, editor. 34<sup>th</sup> Annual International Conference of the IEEE EMBS; San Diego: IEEE. 2012;1952-5.
  4. Schwandt P, von Eckardstein A, Haas G-M. Percentiles of percentage body fat in german children and adolescents: An international comparison. *International Journal of Preventive Medicine*. 2012; 3(12):846.
  5. de Mello M, Damaso A, Antunes H, Siqueira K, Castro M, Bertolino S, et al. Body composition evaluation in obese adolescents: The use of two different methods. *Rev Bras Med Esporte*. 2005; 11(5):251e-4e.
  6. Toombs RJ, Ducher G, Shepherd JA, Souza MJ. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity*. 2012;20(1):30-9.
  7. Eisenmann JC, Heelan KA, Welk GJ. Assessing body composition among 3-to 8-year-old children: Anthropometry, BIA, and DXA. *Obesity Research*. 2012;12(10): 1633-40.
  8. Moreira PVS, Silva AM, Crozara LF, Veloso AP, Vieira F. Analysis of predictive equations of body fat in young taekwondo athletes. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*. 2012;26(3):391-9. Portuguese.
  9. Buonani C, Fernandes RA, Bueno DR, Bastos KN, Segatto AFM, Silveira LS, et al. Performance of different anthropometric equations that predict excess body fat in children and adolescents. *Revista de Nutrição*. 2011; 24(1):41-50.
  10. Freedman DS, Ogden CL, Blanck HM, Borrud LG, Dietz WH. The abilities of body mass index and skinfold thicknesses to identify children with low or elevated levels of dual-energy X-ray absorptiometry–determined body fatness. *The Journal of Pediatrics*. 2013;163(1):160-66.
  11. Slaughter MH, Lohman T, Boileau RA, Horswill C, Stillman R, Van Loan M, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*. 1988;60(5):709-23.
  12. Durnin J, Rahaman M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition*. 1967;21(03): 681-9.
  13. Boileau R, Lohman T, Slaughter M. Exercise and body composition of children and youth. *Scand J Sports Sci*. 1985;7(1): 17-27.
  14. Parizkova J. Total body fat and skinfold thickness in children. *Metabolism: Clinical and Experimental*. 1961;10:794.
  15. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: Age-and sex-specific prediction formulas. *British Journal of Nutrition*. 1991;65(02):105-14.
  16. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. *Techniques for Measuring Body Composition*. 1961:223-44.
  17. Lohman TG. Advances in body composition assessment. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1993;25(6): 762.
  18. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*. 1986;327(8476):307-10.
  19. Williams DP, Going S, Lohman T, Harsha D, Srinivasan S, Webber L, et al. Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents. *American Journal of Public Health*. 1992;82(3):358-63.
  20. Thibault R, Genton L, Pichard C. Body composition: why, when and for who? *Clinical Nutrition*. 2012;31(4):435-47.
  21. Sigulem DM, Devincenzi MU, Lessa AC. Diagnóstico do estado nutricional da criança e do adolescente. *J Pediatr (Rio J)*. 2000;76(Suppl 3):s275-s84. Portuguese.
  22. Rodriguez G, Moreno L, Blay M, Blay V, Fleta J, Sarria A, et al. Body fat measurement in adolescents: Comparison of skinfold thickness equations with dual-energy X-ray absorptiometry. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2005;59(10): 1158-66.

23. Parker L, Reilly JJ, Slater C, Wells JC, Pitsiladis Y. Validity of six field and laboratory methods for measurement of body composition in boys. *Obesity Research*. 2003;11(7):852-8.
24. Hussain Z, Jafar T, Uz Zaman M, Parveen R, Saeed F. Correlations of skin fold thickness and validation of prediction equations using DEXA as the gold standard for estimation of body fat composition in Pakistani children. *BMJ Open*. 2014;4(4):e004194.
25. Cunha SldOA. Avaliação da percentagem de massa gorda numa população pediátrica: Comparação entre os métodos DXA e antropometria. Funchal: Universidade da Madeira; 2008. Portuguese.
26. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, et al. Validade dos métodos para avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes por meio de modelos multicompartimentais: uma revisão sistemática. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 2013;59(5): 475-86. Portuguese.
27. Amaral TF, Teresa Restivo M, Guerra RS, Marques E, Chousal MF, Mota J. Accuracy of a digital skinfold system for measuring skinfold thickness and estimating body fat. *British Journal of Nutrition*. 2011;105(3): 478.
28. Addo OY, Himes JH. Reference curves for triceps and subscapular skinfold thicknesses in US children and adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2010;91(3):635-42.
29. Hariri AA, Oliver NS, Johnston DG, Stevenson JC, Godsland IF. Adiposity Measurements by BMI, Skinfolts and dual energy X-Ray Absorptiometry in relation to risk markers for cardiovascular disease and diabetes in adult males. *Disease Markers*. 2013;35(6):753-64.
30. Tenório M, Barros Md, Tassitano R, Bezerra J, Tenório J, Hallal P. Atividade física e comportamento sedentário em adolescentes estudantes do ensino médio. *Rev Bras Epidemiol*. 2010;13(1):105-17. Portuguese.

© 2016 Ripka et al.; This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

*Peer-review history:*

*The peer review history for this paper can be accessed here:  
<http://sciedomain.org/review-history/16895>*

## MODELAGEM MATEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DO EXCESSO DE GORDURA EM ADOLESCENTES DO SEXO MASCULINO ATRAVÉS DE REGRESSÃO LOGÍSTICA

L. M. Beraldo\*, M. F. Campos\*\*, I. A. Guimarães\*\*\* e L. Ulbricht\*

\*Programa de Pós Graduação em Engenharia Biomédica-UTFPR, Curitiba, Brasil

\*\*Departamento Acadêmico de Educação Física-UTFPR(Bolsista CNPq), Curitiba, Brasil

\*\*\* Departamento Acadêmico de Matemática- UTFPR, Curitiba, Brasil

e-mail: lucasmberaldo@gmail.com

**Resumo:** A determinação do excesso de gordura através de equações de dobras cutâneas desenvolvidas por técnicas escalares pode apresentar erros, sendo mais adequada técnicas logísticas. Este estudo teve como objetivo verificar a eficiência de um modelo desenvolvido através de regressão logística na classificação de excesso de gordura em adolescentes brasileiros. A amostra foi composta por 367 adolescentes do sexo masculino com idade entre 12 e 18 anos na cidade de Curitiba. As variáveis de entrada para a construção do modelo foram idade, massa, estatura, circunferências de quadril e cintura e as dobras cutâneas: tricípital, bicipital, subescapular, abdominal, supra-iliaca, coxa, axilar média, peitoral (Pe) e panturrilha medial (Pm). A variável de saída foi a presença de excesso de gordura determinado a partir do percentual de gordura conforme avaliação por DXA. A eficiência do modelo na determinação do excesso de gordura foi verificada através da curva ROC. Os valores foram comparados com a classificação através do IMC, conforme os critérios de Conde e Monteiro e Cole et al., e a equação proposta por Slaughter et al. O modelo apresentou uma *area under the curve* (AUC) de 0,909 sendo mais eficiente na classificação que: a equação de Slaughter et al. (AUC=0,808), os critérios de IMC de Cole et al. (AUC=0,786); e Conde e Monteiro (AUC=0,649). Desta forma, a regressão logística se apresentou como uma ferramenta adequada no desenvolvimento de modelos para a classificação da gordura corporal para adolescentes do sexo masculino.

**Palavras-chave:** Excesso de Gordura, Adolescentes, Regressão Logística, DXA

**Abstract:** *The determination of overfat by skinfold's equations developed by scalar regression's techniques could provide errors, thus, logistic techniques could be more adequate. This study aimed to verify the efficiency of a model developed by logistic regression to classify overfat among Brazilian adolescents. The sample was composed by 367 male adolescents aged between 12 and 18 years in Curitiba. The inputs to build the model was age, weight, height, waist and hip girth, and the skinfolds: triceps, biceps, subscapular, abdominal, suprailiac, thigh, median axillary, chest (Ch) and medial calf (Ca). The output was the overfat determined by the*

*body fat percentual as measured by DXA. The model efficiency in determinate the overfat was verified by ROC curve. The values were compared with the classification by BMI, according to the criteria from Conde and Monteiro and Cole et al., and the equation proposed by Slaughter et al. The model presented an area under the curve (AUC) of 0,909, it has been more efficient in the classification than: Slaughter et al. equation (AUC=0,808), BMI criteria from Cole et al. (AUC=0,786); and Conde and Monteiro (AUC=0,649). Thus, the logistic regression performed as a properly tool for develop models to classify the body fatness among male adolescents.*

**Keywords:** *s Overfat, adolescents, logistic regression, DXA*

### Introdução

A obesidade é uma doença crônica não transmissível, caracterizada pelo excesso de gordura (EG) no corpo possuindo desfechos de ordem física, mental e social [1], [2]. Particularmente, na adolescência este quadro é mais grave, pois esta fase da vida é apontada como uma fase crítica, uma vez que um indivíduo com EG na adolescência apresenta uma chance significativamente maior de manifestar esta condição na vida adulta [3]. Assim, há a necessidade de um diagnóstico eficiente nesta faixa etária.

A técnica considerada padrão-ouro na avaliação da composição corporal e diagnóstico de EG é a Absorciometria de Raio-X de Dupla Energia (DXA). Porém a emissão de radiação e o alto custo impedem seu uso para monitoramento da população. Por isso, em estudos epidemiológicos a avaliação mais comum é através do Índice de Massa Corporal (IMC). Porém, esta técnica não é capaz de mensurar especificamente o EG. Um método capaz de distinguir a gordura do corpo e de aplicabilidade no monitoramento da população é a medição das dobras cutâneas (DC). Entretanto, este método tem se apresentado ineficiente para o diagnóstico de EG nesta faixa etária [4]–[6].

Uma hipótese é que as equações foram modeladas através de técnicas de regressão, como a linear simples, a linear multivariada e a quadrática simples. Estas, geram valores escalares, enquanto que a classificação quanto à

quantidade de gordura é categórica. Neste sentido, a utilização da regressão logística na modelagem matemática pode ser mais adequada por ter como resultado a indicação da probabilidade de um indivíduo pertencer a uma determinada categoria [7], [8]. Para a análise do EG, estas categorias poderiam ser indicadas como: eutrófico e excesso de gordura.

Desta forma, o objetivo deste estudo é verificar a eficiência de um modelo desenvolvido através de regressão logística na classificação de excesso de gordura em adolescentes brasileiros.

## Materiais e métodos

Esta pesquisa é classificada como exploratória transversal. Participaram do estudo, adolescentes do sexo masculino com idade entre 12 e 18 anos. A amostra foi composta por 367 indivíduos selecionados de forma não-aleatória em Curitiba. A convocação dos participantes foi realizada em escolas e equipes esportivas e através de jornais impressos e televisivos, foram avaliados todos que atendiam aos critérios. Foram excluídos do estudo aqueles que realizaram exames radiológicos na semana anterior à coleta e os que utilizavam medicamentos que continham cálcio. A participação ocorreu mediante o preenchimento do termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE). Este foi preenchido pelo responsável legal entre os menores de idade. Esta pesquisa encontra-se aprovada sob o nº 11583113.7.0000.5547 no Comitê de Ética em Pesquisa da UTFPR.

As variáveis coletadas foram: idade, massa corporal total, estatura, circunferência da cintura (CC), circunferência do quadril (CQ), Percentual de gordura (%G) e as dobras cutâneas: triceptal (Tr), bicipital (Bi), subscapular (Sb), abdominal (Ab), supra-iliaca (Si), coxa (Cx), axilar média (Am), peitoral (Pe) e panturrilha medial (Pm). A idade foi estabelecida conforme a diferença entre a data de nascimento e a data de avaliação. Para a modelagem matemática foi considerada a idade em anos completos, enquanto que para os critérios de classificação do IMC foi adotada a idade conforme indicado em cada estudo [9], [10]. A massa corporal total foi aferida através de balança digital, com resolução de 0,1kg e medição máxima de 200kg, e a estatura através de um estadiômetro com resolução de 0,001m. Através da razão entre a massa e o quadrado da estatura, foi obtido o IMC. As circunferências foram avaliadas através de fita antropométrica inelástica, esta possuía resolução de 0,01cm.

Para a medição das DC foi utilizado plicômetro científico Cescorf, com resolução de 0,1mm. As DC foram aferidas em triplicata adotando o valor das médias. As avaliações foram realizadas segundo as recomendações da ACSM [11]. As medidas das dobras cutâneas foram convertidas em %G através das fórmulas de Slaughter et al. [12], sendo utilizada (1) caso:  $Tr+Sb < 35\text{mm}$ ; e (2) caso:  $Tr+Sb \geq 35\text{mm}$ .

$$\%G = 0,783 \times (Tr + Sb) + 1,6 \quad (1)$$

$$\%G = 1,21 \times (Tr + Sb) - 0,008 \times (Tr + Sb)^2 \quad (2)$$

O %G foi aferido através de DXA utilizando o densitômetro radiológico Hologic Discovery modelo QDR. A avaliação ocorreu conforme as recomendações do fabricante e foi realizada por indivíduos treinados. O percentual de gordura foi estabelecido com uma casa decimal.

Para classificação do excesso de gordura foi adotado o ponto de corte proposto por Williams et al. [2], sendo considerados eutróficos os indivíduos com até 25% de %G. A classificação utilizando o IMC foi realizada conforme o critério nacional de Conde e Monteiro [9] e internacional proposto por Cole et al. [10].

O tratamento de dados foi realizado nos softwares SPSS v21.0 e Microsoft Office Excel 2013. A descrição dos dados foi realizada através de média  $\pm$  desvio padrão além de valores máximos e mínimos. O modelo de classificação foi desenvolvido através da regressão logística sendo adotada como variável dependente a classificação através dos valores obtidos por DXA. As demais variáveis foram inseridas em um único bloco através do método para frente utilizando a razão de verossimilhança como critério para inserção e remoção das variáveis, cada inserção e remoção de variável constitui uma etapa. Para a remoção de variáveis foi considerado como nível de significância  $p < 0,10$  e para todas as outras análises  $p < 0,05$  [8].

O modelo criado é descrito a partir dos coeficientes (B) e erro padrão (EP) para cada variável e para a constante. Foi aplicada a estatística de Wald para verificar se os coeficientes diferem de zero. O ajuste ao modelo é apresentado através do  $R^2$  segundo proposto por Nagelkerke [7], [8].

A eficiência do modelo desenvolvido foi verificada através da curva ROC, que é desenvolvida com base na sensibilidade e especificidade. Estas, podem ser definidas como a proporção de indivíduos classificados corretamente entre os que apresentam e os que não apresentam a condição analisada, respectivamente. Foi calculada a área sob a curva ROC (AUC), que varia entre 0,000 e 1,000 e quanto maior a área mais eficiente é o modelo de classificação [7].

## Resultados

A Tabela 1 apresenta os dados descritivos da amostra. O %G avaliado por DXA variou entre 13,6% e 44,4% com média de  $20,1 \pm 5,3\%$ . De acordo com a avaliação por DXA 14,2% da amostra apresentava EG ( $n=32$ ).

Tabela 1 – Dados descritivos da amostra

	Média	Mínimo	Máximo
Idade <sub>(anos completos)</sub>	15,0 $\pm$ 1,6	12,0	18,0
IMC <sub>(kg/m<sup>2</sup>)</sub>	21,3 $\pm$ 4,3	14,3	73,5
%G	20,1 $\pm$ 5,3	13,6	44,4

A regressão logística aconteceu em seis etapas. Na Tabela 2 é apresentado um resumo da sexta etapa que consiste no modelo final (3). As variáveis inseridas no modelo estão apresentadas na ordem de inserção e não houve

exclusão em nenhuma etapa. A constante foi o único coeficiente que não se apresentou significativamente diferente de 0 ( $p=0,461$ ). O ajuste ao modelo obteve  $R^2=0,829$ .

Tabela 2 – Etapa Final da Regressão Logística

	<b>B</b>	<b>EP</b>	<b>EXP (B)</b>
Idade	0,883	0,305	2,301
Estatutura	-17,307	5,235	0,000
Peitoral	0,438	0,098	1,549
Panturrilha	0,475	0,113	1,609
Constante	4,252	5,764	70,214

$$[1 + e^{-(1,801 + 0,833*idade - 17,307*estatura + 0,438*Pe + 0,475*Pm)}]^{-1} \quad (3)$$

Após a modelagem os indivíduos foram classificados segundo o modelo e comparados com o referencial obtido por DXA. A maior sensibilidade foi apresentada pelo modelo (99,0%), o critério nacional de classificação do IMC proposto por Conde e Monteiro teve a menor sensibilidade (43,2%) entre os métodos. A análise segundo a equação de Slaughter et al. apresentou 96,2% de especificidade, a maior entre os métodos analisados, o modelo proposto apresentou 82,7% de especificidade, a referência de IMC de Cole et al obteve a menor especificidade (69,2%).

O modelo proposto e as referências de Cole et al, tiveram sensibilidade maior que a especificidade, situação inversa ocorreu com o critério de Slaughter e a Conde e Monteiro.

Tabela 3 – Sensibilidade, Especificidade e AUC.

	<b>Sensibilidade</b>	<b>Especificidade</b>	<b>AUC</b>
<b>Modelo</b>	99,0%	82,7%	0,909
<b>Slaughter</b>	65,4%	96,2%	0,808
<b>Conde e Monteiro</b>	43,2%	86,5%	0,649
<b>Cole et al</b>	87,9%	69,2%	0,786

A partir da AUC, que permite unificar a sensibilidade e a especificidade em um único número, nesta análise, o melhor valor foi apontado pela classificação segundo o modelo desenvolvido (AUC=0,909).

## Discussão

A amostra foi composta predominantemente por indivíduos magros. A prevalência de EG (14,2%) está abaixo da identificada através de DXA no Brasil, que é de 28,1% [13]. A média de %G (20,0%) também é abaixo do valor médio encontrado entre adolescentes do Brasil [13], porém próximo do encontrado entre populações asiáticas, tipicamente mais magras [14].

A avaliação da classificação da obesidade tendo a

DXA como referência é rara. Isto provavelmente ocorre pela dificuldade em avaliar amostras grandes o suficiente para este tipo de análise. Outro fator é o número reduzido de critérios de classificação considerando o percentual de gordura. Nesta pesquisa, foi adotado o proposto por Williams et al. [2], que foi desenvolvido através da associação com indicadores da síndrome metabólica. Outros modelos disponíveis são baseados em percentis ou outros parâmetros populacionais [15], [16].

Em decorrência disso, poucos estudos que analisaram a concordância que o IMC e as DC possuem como base à DXA. Buonani et al. [17] avaliaram as DC e encontraram 97,5% de sensibilidade e 76,1% de especificidade para Slaughter, entretanto foi utilizado o IMC e a circunferência de cintura como padrão ouro. Estudos comparando as duas classificações de IMC, encontraram correlação e concordância significativa entre os métodos [18], [19]. Apesar dessa concordância, quando comparadas ao DXA, a referência nacional de Conde e Monteiro, mostrou maior especificidade, ou seja maior capacidade de detectar os eutróficos entre o grupo, enquanto os critérios de Cole et al., mostraram-se mais sensíveis, ou seja capazes de detectar o EG entre o grupo

Outros estudos que adotaram a DXA como padrão-ouro encontraram valores de sensibilidade, especificidade e AUC inferiores ao demonstrado pelo modelo. Sardinha et al. [20] encontraram uma AUC de 0,61 para IMC utilizando os critérios propostos pela Organização Mundial da Saúde [21] e AUC=0,86 para Tr. Em pesquisa com ambos os gêneros Lazarus et al. [22] apontaram uma sensibilidade de 66,7% e uma especificidade de 94,1% para o IMC utilizando as referências da OMS.

Quanto à capacidade preditiva do modelo, ao seguir os critérios de análise da curva ROC propostos por Hosmerand e Lemeshow [7] o modelo desenvolvido apresentou uma discriminação excepcional enquanto o IMC e a equação de Slaughter et al., apresentaram uma discriminação aceitável.

Porém, deve-se ressaltar que avaliar a sensibilidade e especificidade do modelo nos indivíduos utilizados em seu desenvolvimento tende a produzir um resultado melhor do que seria percebido em uma amostra distinta. Assim, é necessária uma validação cruzada para verificar a real capacidade do modelo [7], [8].

Ainda há a necessidade de avaliação de fatores como a multicolinearidade, e a presença de valores discrepantes e influentes [7], [8]. Estes tendem a prejudicar o ajuste do modelo e a inflacionar os erros.

## Conclusão

A regressão logística mostrou-se uma técnica de modelagem matemática adequada visando o diagnóstico de EG, em adolescentes do sexo masculino, apresentando uma discriminação excepcional. Sendo ainda necessário um estudo mais detalhado para o desenvolvimento de uma equação aplicável à população.

**Agradecimentos**

Decit/SCTIE/MS por intermédio do CNPq, apoio da Fundação Araucária e SESA-PR.

**Referências**

- [1] C. Buonani, R. A. Fernandes, D. R. Bueno, K. D. Bastos, A. F. M. Segatto, L. S. Silveira, and I. F. Freitas, “Performance of different anthropometric equations that predict excess body fat in children and adolescents,” *Rev. Nutr. J. Nutr.*, vol. 24, no. 1, pp. 41–50, 2011.
- [2] D. P. Williams, S. B. Going, T. G. Lohman, D. W. Harsha, S. R. Srinivasan, L. S. Webber, and G. S. Berenson, “Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents,” *Am. J. Public Health*, vol. 82, no. 3, pp. 358–63, Mar. 1992.
- [3] V. A. Schommer, S. M. Barbiero, C. C. Cesa, R. Oliveira, A. D. Silva, and L. C. Pellanda, “Excesso de peso, Variáveis Antropométricas e Pressão Arterial em Escolares de 10 a 18 Anos,” *Arq. Bras. Cardiol.*, vol. 102, no. 4, pp. 312–318, 2014.
- [4] J. Casonatto, D. Ohara, D. G. D. Christofaro, R. A. Fernandes, V. Milanez, D. F. Dias, I. F. Freitas Júnior, and A. R. de Oliveira, “Pressão arterial elevada e obesidade abdominal em adolescentes,” *Rev. Paul. Pediatr.*, vol. 29, no. 4, pp. 567–571, 2011.
- [5] P. V. S. Moreira, A. M. Silva, L. F. Crozara, A. P. Veloso, and F. Vieira, “Análise de equações preditivas da gordura corporal em jovens atletas de ‘taekwondo,’” *Rev. Bras. Educ. Física e Esporte*, vol. 26, no. 3, pp. 391–399, 2012.
- [6] D. P. Guedes, “Procedimentos clínicos utilizados para análise da composição corporal,” *Rev. Bras. Cineantropometria e Desempenho Hum.*, vol. 15, no. 1, pp. 113–129, Jan. 2013.
- [7] C.-Y. Chen, H.-C. P. Yang, C.-W. Chen, and T.-H. Chen, “Diagnosing and revising logistic regression models: effect on internal solitary wave propagation,” *Eng. Comput.*, vol. 25, no. 2, pp. 121–139, 2008.
- [8] A. Field, *Descobrendo a estatística usando o SPSS*, 2nd ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- [9] W. L. Conde and C. a. Monteiro, “Body mass index cutoff points for evaluation of nutritional status in Brazilian children and adolescents,” *J. Pediatr. (Rio. J.)*, vol. 82, no. 4, pp. 266–272, Aug. 2006.
- [10] T. J. Cole, M. C. Bellizzi, K. M. Flegal, and W. H. Dietz, “Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey,” *Bmj*, vol. 320, no. 1, pp. 1–6, 2000.
- [11] American College of Sports Medicine, *ACSM’s guidelines for exercises testing and prescription*. Philadelphia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2010.
- [12] M. H. Slaughter, T. G. Lohman, R. a Boileau, C. a Horswill, R. J. Stillman, M. D. Van Loan, and D. a Bembem, “Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth,” *Hum. Biol.*, vol. 60, no. 5, pp. 709–23, Oct. 1988.
- [13] E. R. De Faria, F. R. De Faria, V. S. S. Gonçalves, S. D. C. C. Franceschini, M. D. C. G. Peluzio, L. F. D. R. S. Ana, and S. E. Priore, “Prediction of body fat in adolescents: comparison of two electric bioimpedance devices with dual-energy X-ray absorptiometry,” *Nutr. Hosp.*, vol. 30, no. 6, pp. 1270–1278, 2014.
- [14] K. Kim, S. H. Yun, M. J. Jang, and K. W. Oh, “Body Fat Percentile Curves for Korean Children and Adolescents: A Data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2010,” *J. Korean Med. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 443–449, 2013.
- [15] N. T. Tuan and Y. Wang, “Adiposity assessments: agreement between dual-energy X-ray absorptiometry and anthropometric measures in U.S. children,” *Obes. (Silver Spring)*, vol. 22, no. 6, pp. 1495–504, Jun. 2014.
- [16] F. A. B. Colugnati, F. Louzada-Neto, and J. A. de A. C. Taddei, “An application of bootstrap resampling method to obtain confidence interval for percentile fatness cutoff points in childhood and adolescence overweight diagnoses,” *Int. J. Obes.*, vol. 29, no. 3, pp. 340–7, Mar. 2005.
- [17] C. Buonani, R. A. Fernandes, D. R. Bueno, K. das N. Bastos, A. F. M. Segatto, L. S. Silveira, and I. F. Freitas Júnior, “Desempenho de diferentes equações antropométricas na predição de gordura corporal excessiva em crianças e adolescentes,” *Rev. Nutr.*, vol. 24, no. 1, pp. 41–50, 2011.
- [18] A. S. V. Costa, M. B. D. C. Chein, S. R. Tonial, M. E. A. Gama, M. L. B. Martins, C. L. F. Da Silva, P. R. S. Cruz, and L. M. O. Brito, “Estado nutricional de adolescentes do Maranhão, Brasil, por critérios nacional e internacional,” *Ciência e Saúde Coletiva*, vol. 18, pp. 3715–3720, 2013.
- [19] S. C. Dumith and J. C. Farias Júnior, “Sobrepeso e obesidade em crianças e adolescentes: comparação de três critérios de classificação baseados no índice de massa corporal,” *Rev. Panam. Salud Pública*, vol. 28, no. 1, pp. 30–35, 2010.
- [20] L. B. Sardinha, S. B. Going, P. J. Teixeira, and T. G. Lohman, “Receiver operating characteristic analysis of body mass index, triceps skinfold thickness, and arm girth for obesity screening in children and adolescents,” *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 70, no. 6, pp. 1090–1095, 1999.
- [21] M. De Onis, A. W. Onyango, E. Borghi, A. Siyam, and J. Siekmann, “Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents,” *Bull. World Health Organ.*, vol. 85, no. 9, pp. 660–667, 2007.
- [22] R. Lazarus, L. Baur, K. Webb, and F. Blyth, “Body mass index in screening for adiposity in children and adolescents: systematic evaluation using receiver operating characteristic curves,” *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 63, no. 4, pp. 500–506, 1996.

## Mathematical model for body fat percentage of children with cerebral palsy

Eduardo Borba Neves\*, Lucas Menghin Beraldo, Stéphanie de Pol, Ana Cláudia Martins Szczypior Costin, Claudiana Renata Chiarello, Leandra Ulbricht

**Abstract Introduction:** The aim of this study was to develop a specific mathematical model to estimate the body fat percentage (BF%) of children with cerebral palsy, based on a Brazilian population of patients with this condition. **Method:** This is a descriptive cross-sectional study. The study included 63 Caucasian children with cerebral palsy, both males and females, aged between three and ten-years-old. Participants were assessed for functional motor impairment using the Gross Motor Function Classification System (GMFCS), dual energy x-ray absorptiometry (DXA) and skinfold thickness. Total body mass (TBM) and skinfolds thickness from: triceps (Tr), biceps (Bi), Suprailiac (Si), medium thigh (Th), abdominal (Ab), medial calf (Ca) and subscapular (Se) were collected. Fat mass (FM) was estimated by dual energy x-ray absorptiometry (gold standard). **Results:** The model was built from multivariate linear regression; FM was set as a dependent variable and other anthropometric variables, age and sex, were set as independent variables. The final model was established as  $F\% = ((0.433 \times TBM + 0.063 \times Th + 0.167 \times Si - 6.768) \div TBM) \times 100$ , the  $R^2$  value was 0.950,  $R^2_{\text{adjusted}} = 0.948$  and the standard error of estimate was 1.039 kg. **Conclusion:** This method was shown to be valid to estimate body fat percentage of children with cerebral palsy. Also, the measurement of skinfolds on both sides of the body showed good results in this modelling.

**Keywords:** Body composition, Fat mass, Children, Cerebral palsy, Fat percentage.

### Introduction

Children with Cerebral Palsy (CP) require constant monitoring of their nutritional status. Limited movements of the upper limbs and difficulty in chewing require time-consuming meals which, combined with the presence of vomiting and reflux, can lead to malnutrition (Neves et al., 2014) while the most committed individuals who make use of gastric tube may have overweight and obesity (Stallings et al., 1995; Stallings et al., 1996).

A useful tool for this monitoring is anthropometry, especially estimated body fat percentage (BF%) by analysis of body composition (Stevenson et al., 2006). However, the use of models developed for healthy individuals provided inadequate results in children with CP (Gurka et al., 2010; Liu et al., 2005; Sproule et al., 2010; Stallings et al., 1995). Some CP conditions such as muscle atrophy, motor disturbances, altered growth pattern, increased body water, lower bone density and greater body fat concentration are seen as factors that block the assessment made by methods developed for healthy individuals (Gurka et al., 2010; Kuperminc et al., 2010; Liu et al., 2005; Stallings et al., 1995; Stevenson et al., 2006).

Indirect methods have been suggested as suitable for the evaluation of body composition, such as hydrogen dilution and oxygen isotopes (Van den Berg-Emons et al.,

1995) and, more recently, dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) (Gurka et al., 2010; Kuperminc et al., 2010; Liu et al., 2005; Neves et al., 2014).

Considering the need for more affordable methods for assessing body composition, models that perform the evaluation through skinfold were proposed (Gurka et al., 2010; Stallings et al., 1995; Van den Berg-Emons et al., 1998). They were based on North American and Dutch populations and all the procedures were developed based on adaptations of their own models for healthy children, especially the one proposed by Slaughter et al. (1988). Although the study by Neves et al. (2014) proposed a specific equation for children with CP, the sample was very small, limiting the applicability of the results.

Therefore, the aim of this study was to develop a mathematical specific model to estimate the body fat percentage of children with cerebral palsy, based on a Brazilian population of patients with this condition.

### Methods

This is a descriptive cross-sectional study, whose main intent was to build predictive models from the associations of variables. The study included 63 Caucasian children with cerebral palsy, both males

\*e-mail: [borbaneves@hotmail.com](mailto:borbaneves@hotmail.com)



and females, aged between three and ten-years-old, who participated in the physical therapy intensive program at Vitória Research Center, Curitiba, Brazil. Data collection occurred from 2012 to 2014. All patients with cerebral palsy and whose guardians agreed to their participation in the study were included in the sample. The study protocol was approved by the Human Research Ethics Committee of Campos de Andrade University Center under CAAE number 20058513.9.0000.5218. Informed consent was obtained from each participant’s parent or legal guardian.

Participants were assessed for functional motor impairment using the Gross Motor Function Classification System (GMFCS), whose levels range from I to V, with individuals at level V having the greatest motor impairment. The sample was composed of children classified into all levels as shown in Table 1.

Total body mass (TBM) was measured by digital scales (Wiso W801) with a capacity of 0-180 kg and graduation of 100g. A stadiometer (WCS Woody Compact) was used for height measurement. Skinfold measurements were made with a scientific caliper (CESCORF) with precision of 0.1mm. All measures were taken by only one experienced assessor (Certificate Level 2 by the International Society of Advancement of Kinanthropometry - ISAK) and carried out according to the recommendations by the American College of Sports Medicine (American..., 2013). The measures were taken on both sides of the body on: triceps (Tr), biceps (Bi), supra iliac (Si), medium thigh (Th), abdominal (Ab), medial calf (Ca) and subscapular (Se) folds. The skinfolds were measured in this order, and the procedure was performed three times. The average of the measurements for each fold in millimeters (mm) was used.

The assessment by DXA was performed with the device Lunar Prodigy Advance (GE Healthcare - General Electric Company) with Encore 2011 GE Healthcare software, which use NHANES III Table for body composition assessment of the CETAC laboratory, Curitiba, Brazil. This equipment has a coefficient of variation less than 1%, as indicated in the equipment’s user’s guide. The evaluated subjects were positioned supine with the legs kept in medial

rotation through an acrylic nib and remained immobile during the evaluation. Children who could not stand still were sedated for this assessment. From the DXA whole body evaluation, the gold-standard method (Giachetti et al., 2015; Gurka et al., 2010; Liu et al., 2005) was established; fat mass (FM) and fat-free mass (FFM) were both presented in kilograms. Another variable that was measured was body fat percentage (BF%).

Descriptive data are presented as mean and standard deviation (s). The model was built from multivariable linear regression. The data were entered into a single hierarchical level through the stepwise forward method, and FM was established as the output variable (dependent). For determination of the predictor variables (independent), first Pearson’s correlation (R) was applied between the variables, and the ones most strongly correlated with FM were inserted in the model; the other variables were selected in descending order of correlation with FM, since they did not show a high correlation ( $R > 0.900$ ) with any variable already present in the model. This procedure was used to avoid multicollinearity. Sex was entered as a dichotomous variable as a result of the possible morphological differences between sexes.

Cook’s distance was used to verify influential values in the model, and those with value  $> 1$  were established as influential (Cook and Weisberg, 1982). The selection of outliers was performed by analysing the standardized residuals, with expected maximum of three individuals ( $\sim 5.0\%$ ) presented for  $> | 1.96s |$ , one ( $\sim 1.0\%$ )  $> | 2.58s |$  and none for ( $\sim 0.1\%$ )  $> | 3.29s |$ .

The validity of the model was tested through the square of the correlation between the predicted values and the FM ( $R^2$ ) in order to verify the relationship between the model and the observed values by DXA; ANOVA was performed to test the relationship among the sums of squares; the standard error of estimate (SEE), to determine precision; and t-test, to check if the predictor coefficients and the constant are different from zero. The predictor variables are described by regression coefficient (B); standard error for each parameter (SE B); standardized values for each coefficient ( $\beta$ ); and the partial correlation coefficient (PCC). The applicability of the model was assessed using the adjusted value of the correlation squared ( $R^2_{adjusted}$ ). The normal distribution of errors was verified by applying the Shapiro-Wilk test (Razali and Wah, 2011). The analyses were performed on the software Statistical Package for Social Sciences 21.0. The confidence interval was 95.0%, and significant results are indicated as levels \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ .

**Table 1.** Gross Motor Function Classification of 63 Brazilian children, from 3 to 10 years, with cerebral palsy.

GMFCS Level	N (%)
I	2 (2.94)
II	15 (22.06)
III	22 (32.35)
IV	5 (7.35)
V	24 (35.29)



## Results

The sample presented age of  $5.6 \pm 1.8$  years and was composed of 63 individuals; 65.1% (n=41) were male. As for body composition, FM sample ranged between 0.9 and 18.4 kg and BF% was  $21.6 \pm 11.9$  (Table 2).

Table 3 contains the correlation values between the variables. All analyses were significant ( $p < 0.001$ ). Based on these values, we selected the variables that would be included in the model. TBM had the highest correlation with FM ( $R = 0.939$ ) and was the first inserted variable. Then, we selected the folds Si ( $R = 0.915$ ), Th ( $R = 0.909$ ) and Bi ( $R = 0.873$ ) and age ( $R = 0.729$ ). The variables Se and Ab were excluded

because they have a high correlation with Si ( $R = 0.914$  and  $0.937$ , respectively); Tr and Ca were excluded because they have a high correlation with Bi ( $R = 0.930$  and  $0.910$ , respectively).

The stepwise regression yielded three models, according to the analysis by ANOVA, and all three of them were significant ( $p < 0.001$ ). In the first model, only TBM was entered. Then, with the inclusion of Th there was an increase of  $0.059$  in modification of  $R^2$  and F were significant ( $p < 0.001$ ). In the last model Si was inserted, increasing  $R^2$  by  $0.009$  and promoting another significant change in the F value ( $p = 0.001$ ). This was the last generated model resulting in Equation 1 (Table 4). Based on this model (Equation 1), the final equation was proposed to estimate BF% (Equation 2).

**Table 2.** Anthropometric characterization of 63 Brazilian children, from 3 to 10 years, with cerebral palsy.

	Total	Female	Male
Age	$5.6 \pm 1.8$ (3.0-10.9)	$6.4 \pm 2.4$ (3.1-10.9)	$5.2 \pm 1.2$ (3.0-7.2)
TBM	$17.6 \pm 5.4$ (11.0-32.0)	$21.5 \pm 6.7$ (15.0-32.0)	$15.4 \pm 3.0$ (11.0-22.0)
FM	$4.6 \pm 4.5$ (0.9-18.4)	$8.4 \pm 5.9$ (3.2-18.4)	$2.6 \pm 1.3$ (0.9-5.8)
FFM	$12.9 \pm 1.9$ (9.4-17.4)	$13.2 \pm 11.1$ (11.1-16.7)	$12.8 \pm 2.2$ (9.4-17.4)
BF%	$21.6 \pm 11.9$ (6.7-51.6)	$32.7 \pm 12.3$ (20.2-51.6)	$15.7 \pm 6.2$ (6.7-29.3)

TBM: Total body mass; FM: Fat mass; FFM: Free fat mass and BF%: Body fat percentage.

**Table 3.** Correlation between the anthropometric variables of 63 Brazilian children, from 3 to 10 years, with cerebral palsy.

	TBM	Age	Se	Ca	Ab	Th	Si	Bi	Tr
FM	0.939	0.729	0.897	0.814	0.862	0.909	0.915	0.873	0.852
Tr	0.765	0.479	0.916	0.857	0.895	0.900	0.887	0.930	-
Bi	0.805	0.552	0.913	0.910	0.879	0.893	0.892	-	-
Si	0.837	0.546	0.914	0.810	0.937	0.897	-	-	-
Th	0.820	0.569	0.892	0.830	0.872	-	-	-	-
Ab	0.805	0.485	0.892	0.777	-	-	-	-	-
Ca	0.827	0.603	0.788	-	-	-	-	-	-
Se	0.783	0.516	-	-	-	-	-	-	-
Age	0.809	-	-	-	-	-	-	-	-

TBM: Total body mass; FM: Fat mass; Tr: Triceps; Bi: Biceps; Si: Suprailiac; Th: Medium thigh; Ab: Abdominal; Ca: Medial calf and Se: Subscapular.

**Table 4.** Model parameters and variables inserted in a specific mathematical model to estimate the body fat percentage (BF%) of children with cerebral palsy, based on a Brazilian population.

Models <sup>a</sup>	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adjusted</sub>	SEE	B	SE B	β <sup>b</sup>	PCC
1***	0.882	0.880	1.575				
Constant				-9.210	0.677		
TBM				0.787	0.037	0.939***	0.939
2***	0.941	0.939	1.125				
Constant				-7.359	0.540		
TBM				0.496	0.046	0.592***	0.812
Th				0.100	0.013	0.424***	0.706
3***	0.950	0.948	1.039				
Constant				-6.768	0.528		
TBM				0.433	0.046	0.517***	0.773
Th				0.063	0.016	0.268***	0.453
Si				0.167	0.050	0.242**	0.402

B: Slope; SE B: Standard error for the slope; β: Standardized slope; PCC: Partial correlation coefficient; SEE: Standard error of estimate; TBM: Total body mass; Th: Medium thigh; Si: Suprailiac. <sup>a</sup>: Average Model ≠ (ANOVA); <sup>b</sup>: β ≠ 0 (t test); \*\* p < 0.01; \*\*\* p < 0.001.

All variables excluded from the final model showed no  $\beta \neq 0$ ; the significance values were  $p=0.548$  for gender,  $p=0.889$  for Bi and  $p=0.096$  for age.

$$FM = 0.433 \times TBM + 0.063 \times Th + 0.167 \times Si - 6.768 \quad (1)$$

$$BF\% = \frac{0.433 \times TBM + 0.063 \times Th + 0.167 \times Si - 6.768}{TBM} \times 100 \quad (2)$$

Cook's distance range from 0.000 to 0.322 and two cases (3.2%) had standard residue  $> |1.96s|$  with the values  $-2.68$  and  $1.96$ , which justifies the non-exclusion of any individual. The final  $R^2_{\text{adjusted}}$  value was 0.948, and the difference from  $R^2$  was 0.002. The residuals were normally distributed ( $p=0.791$ ).

## Discussion

The determination of body composition through the use of equations developed with a basis on healthy children has been shown to be inadequate. Using the Slaughter equation (Slaughter et al., 1988) in American children showed correlation  $\rho=0.588$  to fat mass in the study by Liu et al. (2005) and  $R=0.690$  in the study by Stallings et al. (1995). By contrast, Van den Berg-Emons et al. (1998), compared the results obtained from this equation with BF% values of Dutch children obtained by the deuterium dilution technique and found a correlation  $\rho=0.820$ . Other equations achieved reasonable quality statistical parameters, but still lower than those obtained in the present study ( $R^2=0.950$ ). The Durnin and Rahaman (1967) equation was developed from the body density values obtained by underwater weighing correlated by the order  $\rho=0.406$ . Gurka et al. (2010) developed an adaptation to the Slaughter equation that presented a correlation of agreement with the BF% determined by DXA of  $R=0.910$ .

One of the error factors in the evaluation of children with CP may lie in determining the side to be evaluated. There is no consensus on the criteria to be used, but most researches do not adopt any specific protocol due to the imbalance in body mass observed across hemibody (Liu et al., 2005; Stallings et al., 1995; Stevenson et al., 2006). Some protocols indicate the conclusion of the measure in the less affected side (Gurka et al., 2010) or in the non-dominant side (Tomoum et al., 2010; Van den Berg-Emons et al., 1998). The protocol developed in this study was adequate by performing the evaluation on both sides and taking the sum of the average of measures, and no study has been conducted performing the evaluation in this way.

The value of  $R^2_{\text{adjusted}}=0.948$  suggests that even in other samples of children with CP the developed

model is appropriate. Still, the measures taken to avoid multicollinearity tend to avoid the presence of errors in the application of the elaborated equation.

Age and gender were not significant enough to enter the equation. This suggests that the changes due to sexual maturation may already be represented in the variables present in the proposed equation. The absence of age and gender in the final model has been observed in other models for children with CP (Gurka et al., 2010; Stallings et al., 1995; Van den Berg-Emons et al., 1998). Although these factors affect fat mass, these variables are already associated with total body mass and inserted into the folds in the model.

It should be noted that the BF% measurement has limitations, even in healthy individuals. The direct measurement of the amount of body fat is possible only on cadavers and this measurement is practiced indirectly, mainly by densitometry. In this sense, knowledge of the density of different body tissues to determine the BF% is required. Among healthy children, these benchmarks are not yet fully established and among children with CP, it is not known how the morphological differences alter these values. Thus, DXA is indicated as the best technique for the measurement of BF% in children with CP, since other indirect methods such as underwater weighing and air displacement plethysmography require apnea and individuals must remain immobile for a long time (Oeffinger et al., 2014; Silva et al., 2013a).

Regarding the DXA technique used in this study, it was included as a form of indirect assessment of body composition in the 80s (Toombs et al., 2012). Although exposing the subject to a source of X-rays, it can be used in people of all ages (Hussain et al., 2014). The DXA Technology has been tested and validated in several populations, in different age groups, becoming recognized as a reference method in the body composition analysis (Albanese et al., 2003; Prior et al., 1997; Toombs et al., 2012).

Authors (Heymsfield et al., 1990), comparing the analysis of body composition by DXA with a 4-Compartment model (4-C) by neutron activation in 31 healthy adults, reported that the DXA presented error of about 1.6% to estimate the fat mass compared to 4-C. Kuriyan et al. (2014) evaluated the accuracy and precision of the estimated fat mass by DXA, BIA, skinfold thickness, and plethysmography, comparing with the reference method 4-C. The study evaluated 39 adults aged 20-40 years, and the results showed that the DXA provided the fat mass estimation with less bias and slight overestimation compared to other methods.

Williams et al. (2006) published a study in which they compared the accuracy of DXA, with a model of 4-C based on deuterium dilution to estimate fat mass and fat-free mass in 215 subjects aged from 5 to 21.3 years. The authors reported overestimation for fat mass in adult men and women, as well as for obese children and underestimation in non-obese children. The overestimation of fat mass was also detected by Svendsen et al. (1993), but the authors pointed out that the estimated standard error (EPE) was below 3% (1.9kg) associated with a correlation  $r > 0.97$ , acceptable value for a reference method. Low EPE were also found by Prior et al. (1997) (SEE=2.8%) who evaluated 172 young people aged between 19 and 22 years and Van der Ploeg et al. (2003) (SEE=1.6%) that evaluated 152 individuals of both sexes, between 18 and 59 years.

Specifically in children and adolescents the applicability of DXA has also been widely discussed in the literature, being considered as a great method for estimating body composition (Elberg et al., 2004; Hussain et al., 2014). However, Sopher et al. (2004) conducted a study with 411 children and adolescents aged six to 18, in order to compare the fat percentage measured by DXA and the model of 4-C, they found overestimated values for DXA in those with a high fat percentage and underestimated in individuals with low fat percentage. Similar results were reported by Williams et al. (2006) and Wells et al. (2010).

Wong et al. (2002) evaluated the agreement in predicting the fat percentage between DXA and the model of 4-C in girls with a mean age of  $13 \pm 1.9$  years. The results showed an average overestimated fat 3.9%. According to the authors, this error stems from the adoption of the value of 73% for the hydration of fat free tissue which is the reference used by DXA software. Such values can be adopted for adults, but have limitations for teens because this value can vary from 67% to 85% according to individual characteristics (Helba and Binkovitz, 2009).

Silva et al. (2013b) conducted a systematic review of 12 studies involving the assessment methods of body fat in children and adolescents. The authors report that the DXA tends to underestimate the fat mass when compared to other methods in this population. And yet, the method should be used with caution because variables such as moisture levels, gender, ethnicity and type of equipment used may influence the results. Moreover, Testolin et al. (2000) argue that the errors found in this method are small and without significant impact on clinical practice or research. Even the 4C model which is admittedly the best gold standard for assessment of body composition according to Silva et al. (2013b), presents limitation on its use

in young people. The authors justify this restriction because most equations were developed in adults. This fact reinforces the relevance of this study, which proposes equations developed with children.

The devolved equation was:  $F\% = ((0.433 \times TBM + 0.063 \times Th + 0.167 \times Si - 6.768) \div TBM) \times 100$ ; the  $R^2_{\text{obtained}}$  was 0.950,  $R^2_{\text{adjusted}} = 0.948$  with standard error estimated of 1.039kg. This appeared valid and proves to be suitable for application in different groups of children with cerebral palsy. Also, the measurement of skinfolds on both sides of the body showed good results in the construction of the model.

## References

- Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical applications of body composition measurements using DXA. *Journal of Clinical Densitometry*. 2003; 6(2):75-85. PMID:12794229. <http://dx.doi.org/10.1385/JCD:6:2:75>.
- American College of Sports Medicine ACoSM. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
- Cook RD, Weisberg S. Residuals and influence in regression. New York: Chapman and Hall; 1982.
- Durnin J, Rahaman M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *British Journal of Nutrition*. 1967; 21(3):681-9. PMID:6052883. <http://dx.doi.org/10.1079/BJN19670070>.
- Elberg J, McDuffie JR, Sebring NG, Salaita C, Keil M, Robotham D, Reynolds JC, Yanovski JA. Comparison of methods to assess change in children's body composition. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2004; 80(1):64-9. PMID:15213029.
- Giachetti A, Lovato C, Piscitelli F, Milanese C, Zancanaro C. Robust automatic measurement of 3D scanned models for human body fat estimation. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. 2015; 19(2):660-7. PMID:24691541. <http://dx.doi.org/10.1109/JBHI.2014.2314360>.
- Gurka MJ, Kuperminc MN, Busby MG, Bennis JA, Grossberg RI, Houlihan CM, Stevenson RD, Henderson RC. Assessment and correction of skinfold thickness equations in estimating body fat in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2010; 52(2):e35-41. PMID:19811518. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2009.03474.x>.
- Helba M, Binkovitz LA. Pediatric body composition analysis with dual-energy X-ray absorptiometry. *Pediatric Radiology*. 2009; 39(7):647-56. PMID:19415261. <http://dx.doi.org/10.1007/s00247-009-1247-0>.
- Heysmsfield SB, Lichtman S, Baumgartner RN, Wang J, Kamen Y, Aliprantis A, Pierson R Jr. Body composition of humans: Comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1990; 52(1):52-8. PMID:2360552.

- Hussain Z, Jafar T, Zaman MU, Parveen R, Saeed F. Correlations of skin fold thickness and validation of prediction equations using DEXA as the gold standard for estimation of body fat composition in Pakistani children. *BMJ Open*. 2014; 4(4):e004194. PMID:24755209. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2013-004194>.
- Kuperminc MN, Gurka MJ, Bennis JA, Busby MG, Grossberg RI, Henderson RC, Stevenson RD. Anthropometric measures: Poor predictors of body fat in children with moderate to severe cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2010; 52(9):824-30. PMID:20497455. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8749.2010.03694.x>.
- Kuriyan R, Thomas T, Ashok S, Jayakumar J, Kurpad AV. A 4-compartment model based validation of air displacement plethysmography, dual energy X-ray absorptiometry, skinfold technique & bio-electrical impedance for measuring body fat in Indian adults. *The Indian Journal of Medical Research*. 2014; 139(5):700-7. PMID:25027079.
- Liu L-F, Roberts R, Moyer-Mileur L, Samson-Fang L. Determination of body composition in children with cerebral palsy: bioelectrical impedance analysis and anthropometry vs dual-energy x-ray absorptiometry. *Journal of the American Dietetic Association*. 2005; 105(5):794-7. PMID:15883558. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jada.2005.02.006>.
- Neves E, Krueger E, Rosário B, Oliveira M, Pol S, Ripka W. Fat percentage equation for children with cerebral palsy: a novel approach. In: XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing; 2013; Seville, Spain. Cham: Springer International Publishing; 2014. p. 121-4.
- Oeffinger DJ, Gurka MJ, Kuperminc M, Hassani S, Buhr N, Tylkowski C. Accuracy of skinfold and bioelectrical impedance assessments of body fat percentage in ambulatory individuals with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*. 2014; 56(5):475-81. PMID:24344745. <http://dx.doi.org/10.1111/dmcn.12342>.
- Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, Evans EM, Sloniger MA, Saunders M, Lewis RD. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *Journal of Applied Physiology*. 1997; 83(2):623-30. PMID:9262461.
- Razali NM, Wah YB. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2011; 2(1):21-33.
- Silva AM, Fields DA, Sardinha LB. A PRISMA-driven systematic review of predictive equations for assessing fat and fat-free mass in healthy children and adolescents using multicomponent molecular models as the reference method. *Journal of Obesity*. 2013a; 2013:1-15.
- Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, Cyrino ES. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. *Revista da Associação Médica Brasileira*. 2013b; 59(5):475-86. PMID:24119380. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ramb.2013.03.006>.
- Slaughter MH, Lohman T, Boileau R, Horswill C, Stillman R, Van Loan M, Bembem D. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Human Biology*. 1988; 60(5):709-23. PMID:3224965.
- Sopher AB, Thornton JC, Wang J, Pierson RN Jr, Heymsfield SB, Horlick M. Measurement of percentage of body fat in 411 children and adolescents: a comparison of dual-energy X-ray absorptiometry with a four-compartment model. *Pediatrics*. 2004; 113(5):1285-90. PMID:15121943. <http://dx.doi.org/10.1542/peds.113.5.1285>.
- Sproule DM, Montes J, Dunaway SL, Montgomery M, Battista V, Shen W, Punyanitya M, Darryl C, Kaufmann P. Bioelectrical impedance analysis can be a useful screen for excess adiposity in spinal muscular atrophy. *Journal of Child Neurology*. 2010; 25(11):1348-54. PMID:20388937. <http://dx.doi.org/10.1177/0883073810365185>.
- Stallings VA, Cronk CE, Zemel BS, Charney EB. Body composition in children with spastic quadriplegic cerebral palsy. *The Journal of Pediatrics*. 1995; 126(5):833-9. PMID:7752019. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3476\(95\)70424-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3476(95)70424-8).
- Stallings VA, Zemel BS, Davies JC, Cronk CE, Charney EB. Energy expenditure of children and adolescents with severe disabilities: a cerebral palsy model. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1996; 64(4):627-34. PMID:8839510.
- Stevenson RD, Conaway M, Chumlea WC, Rosenbaum P, Fung EB, Henderson RC, Worley G, Liptak G, O'Donnell M, Samson-Fang L, Stallings VA. Growth and health in children with moderate-to-severe cerebral palsy. *Pediatrics*. 2006; 118(3):1010-8. PMID:16950992. <http://dx.doi.org/10.1542/peds.2006-0298>.
- Svendsen OL, Haarbo J, Hassager C, Christiansen C. Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1993; 57(5):605-8. PMID:8480673.
- Testolin CG, Gore R, Rivkin T, Horlick M, Arbo J, Wang Z, Chiumello G, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry: analysis of pediatric fat estimate errors due to tissue hydration effects. *Journal of Applied Physiology*. 2000; 89(6):2365-72. PMID:11090591.
- Tomoum HY, Badawy NB, Hassan NE, Alian KM. Anthropometry and body composition analysis in children with cerebral palsy. *Clinical Nutrition (Edinburgh, Lothian)*. 2010; 29(4):477-81. PMID:19926178. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clnu.2009.10.009>.
- Toombs RJ, Ducher G, Shepherd JA, Souza MJ. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. *Obesity (Silver Spring, Md.)*. 2012; 20(1):30-9. PMID:21760631. <http://dx.doi.org/10.1038/oby.2011.211>.
- Van den Berg-Emons H, Saris W, Barbanson D, Westterterp K, Huson A, Van Baak M. Daily physical activity of schoolchildren with spastic diplegia and of healthy control subjects. *The Journal of Pediatrics*. 1995; 127(4):578-84. PMID:7562279. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3476\(95\)70115-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-3476(95)70115-X).
- Van den Berg-Emons R, Van Baak M, Westterterp KR. Are skinfold measurements suitable to compare body fat between children with spastic cerebral palsy and healthy controls? *Developmental Medicine and Child Neurology*. 1998; 40(5):335-9. PMID:9630261.

Van der Ploeg GE, Withers RT, Laforgia J. Percent body fat via DEXA: comparison with a four-compartment model. *Journal of Applied Physiology*. 2003; 94(2):499-506. PMID:12531910. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00436.2002>.

Wells JC, Haroun D, Williams JE, Wilson C, Darch T, Viner RM, Eaton S, Fewtrell MS. Evaluation of DXA against the four-component model of body composition in obese children and adolescents aged 5-21 years. *International Journal of Obesity*. 2010; 34(4):649-55. PMID:20065958. <http://dx.doi.org/10.1038/ijo.2009.249>.

Williams JE, Wells JC, Wilson CM, Haroun D, Lucas A, Fewtrell MS. Evaluation of Lunar Prodigy dual-energy X-ray absorptiometry for assessing body composition in healthy persons and patients by comparison with the criterion 4-component model. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2006; 83(5):1047-54. PMID:16685045.

Wong WW, Hergenroeder AC, Stuff JE, Butte NF, Smith EOB, Ellis KJ. Evaluating body fat in girls and female adolescents: advantages and disadvantages of dual-energy X-ray absorptiometry. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002; 76(2):384-9. PMID:12145011.

---

## Authors

**Eduardo Borba Neves<sup>1,2,3\*</sup>, Lucas Menghin Beraldo<sup>1</sup>, Stéphanie de Pol<sup>1</sup>, Ana Cláudia Martins Szczypior Costin<sup>2</sup>, Claudiana Renata Chiarello<sup>2</sup>, Leandra Ulbricht<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Graduate Program of Biomedical Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>2</sup> Vitória Research Center, Centro Universitário Campos de Andrade – UNIANDRADE, Curitiba, PR, Brazil.

<sup>3</sup> Brazilian Army Research Institute of Physical Fitness, Av. João Luis Alves, s/n, Fortaleza de São João - Urca, CEP 22291-090, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.



## 4 CONCLUSÃO

As equações tradicionais utilizadas para converter as dobras cutâneas em medições da gordura corporal demonstraram-se inadequadas para aplicação em adolescentes da região metropolitana de Curitiba.

Entre adolescentes hígidos, foi desenvolvida uma fórmula para a classificação do excesso de gordura indicando a probabilidade do indivíduo possuir excesso de gordura a partir da idade, estatura e das dobras cutâneas peitoral (Pe) e da panturrilha medial (Pm). O ajuste do modelo foi de  $R^2=0,829$ , indicando um bom ajuste.

A eficiência do modelo na determinação do excesso de gordura foi superior às análises por IMC e dobras cutâneas, apresentando a maior *Area Under the Curve* a partir da ROC, obtendo alta sensibilidade (99,0%) sem perda da especificidade (82,7%). Isto demonstra que a regressão logística é uma técnica adequada ao desenvolvimento de modelos determinantes do excesso de gordura.

A aplicação de técnicas de regressão linear apresentou resultados positivos, mesmo a partir da modelagem na amostra de crianças com paralisia cerebral. Estes apresentam alterações morfológicas variadas entre si o que dificulta o desenvolvimento do modelo. Ainda assim, foi demonstrado que a utilização de coeficientes separados para cada variável, a opção por regressão linear e as técnicas para evitar a multicolinearidade foram adequadas apresentando uma boa aderência entre a população e a perspectiva de exatidão em outras amostras. Considerando os valores de Massa de Gordura (MG), Massa Corporal Total (MCT), soma das dobras cutâneas da coxa média (Cx) e suprailíaca (Si) foi desenvolvida a equação. O  $R^2$  obtido esteve acima do indicado,  $R^2=0,950$  com erro padrão de 1,039.

Como recomendação a estudos futuros sugere-se a determinação de pontos de corte mais adequados para a avaliação de excesso de gordura e obesidade, considerando os efeitos da gordura corporal nas condições de saúde e não distribuições populacionais.

A partir do desenvolvimento destes pontos de corte haverá a necessidade da construção de novos modelos que podem ser desenvolvidos com a metodologia proposta nesta dissertação.

Na avaliação da gordura em crianças com paralisia cerebral apesar das técnicas adotadas para redução da multicolinearidade ainda há a necessidade de verificar se estes foram eficientes o que pode ser realizados pelo índice de Durbin-Watson, por exemplo. Esta mesma análise pode ser aplicada no modelo de determinação do excesso de gordura havendo ainda a necessidade da investigação de valores discrepantes e influentes. Por fim sugere-se a validação cruzada de ambos os modelos.

## REFERÊNCIAS

ADDO, O.Y.; HIMES, J.H. Reference curves for triceps and subscapular skinfold thickness in US children and adolescents. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 91, n. 3, p. 635-642, 2010.

ALBANESE, C.V.; DIESSEL, E.; GERNANT, H.K. Clinical applications of body composition measurement using DXA. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 6, n. 2, p. 75-85, 2003.

AMARAL, T.F.; RESTIVO, M.T.; GUERRA, R.S.; MARQUES, E.; CHOUSAL, M.F. et al. Accuracy of a digital skinfold system for measuring skinfold thickness and estimating body fat. **British Journal of Nutrition**, v. 105, n. 3, p. 478-484, 2011.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. **ACSM's guidelines for exercises testing and prescription**. Filadélfia: Lippincott, Williams & Wilkins, 2010.

ANDREOLI, A.; GARACI, F.; CAFARELLI, F.P.; GUGLIELMI, G. Body composition in clinical practice. **European Journal of Radiology**, v. 85, n. 8, p. 1461-1468, 2016.

BERG-EMONS, R.V.; SARIS, W.; BARBANSON, D.; WESTERTERP, K.; HUSON, A. et al. Daily physical activity of schoolchildren with spastic diplegia and of healthy control subjects. **The Journal of Pediatrics**, v. 127, n. 4, p. 578-584, 1995.

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The Lancet**, v. 327, p. 307-310, 1986.

BOEKE, C.E.; OKEN, E.; KLEINMAN, K.P.; RIFASSHIMAN, S.L.; TAVERAS, E.M. et al. Correlation among adiposity measures in school-aged children. **BMC Pediatrics**, v. 13, n. 99, p. 1-8, 2013.

BOILEAU, R.A.; LOHMAN, T.J.; SLAUGHTER, M.H. Exercise and body composition of children and youth. **Scandinavian Journal of Sports Science**, v. 7, n. 1, p. 17-27, 1985.

BUONANI, C.; FERNANDES, R.A.; BUENO, D.R.; BASTOS, K.N.; SEGATTO, A.F.M. et al. Performance of different anthropometric equations that predict excess body fat in children and adolescents. **Revista de Nutrição**, v. 24, n. 1, p. 41-50, 2011.



BRAY, G.A.; DELANY, J.P.; VOLAUFOVA, J.; HARSHA, D.W.; CHAMPAGNE, C. Prediction of body fat in 12-y-old African American and white children: evaluation of methods. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, n. 5, p. 980-990, 2002.

BRODIE, D.; MOSCRIP, V.; HUTCHEON, R. Body composition measurement: A review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods. **Nutrition**, v. 14, n. 3, p. 296–310, 1998.

BROZEK, J.; GRANDE, F.; ANDERSON, J.T.; KEYS, A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. **Annals New York Academy of Sciences**, v. 110, p. 113–140, 1963.

CASONATTO, J.; OHARA, D.; CHRISTOFARO, D.G.D.; FERNANDES, R.A.; MILANEZ, V. et al. Pressão arterial elevada e obesidade abdominal em adolescentes. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 29, n. 4, p. 567-571, 2011.

CARDOSO, L.O.; ENGSTROM, E.M.; LEITE, I.C.; CASTRO, I.R.R. Fatores demográficos, ambientais e comportamentais associados ao excesso de peso em adolescentes: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 12, n. 3, p. 378–403, 2009.

CDC, CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION. **Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III): Bone Densitometry Manual**. Rockville Westat, 1989.

CHEN, C.Y.; YANG, H.C.P.; CHEN, C.W.; CHEN, T.H. Diagnosing and revising logistic regression models: effect on internal solitary wave propagation. **Engineering Computations**, v. 25, n. 2, p. 121–139, 2008.

COLE, T.J.; BELLIZZI, M.C.; FLEGAL, K.M.; DIETZ, W.H. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. **Bmj**, v. 320, n. table 1, p. 1–6, 2000.

COLUGNATI, F.A.B.; LOUZADA-NETO, F.; TADDEI, J.A.A.C. An application of bootstrap resampling method to obtain confidence interval for percentile fatness cutoff points in childhood and adolescence overweight diagnoses. **International Journal of Obesity**, v. 29, n. 3, p. 340-347, 2005.

CONDE, W. L.; BORGES, C. O risco de incidência e persistência da obesidade entre adultos brasileiros segundo seu estado nutricional ao final da adolescência. **Revista**

**Brasileira de Epidemiologia**, v. 14, n. 1, p. 71–79, 2011.

CONDE, W. L.; MONTEIRO, C. A. Body mass index cutoff points for evaluation of nutritional status in Brazilian children and adolescents. **Jornal de Pediatria**, v. 82, n. 4, p. 266–272, 2006.

COOK, R.D.; WEISBERG, S. **Residual and influence in regression**. Nova Iorque: Chapman and Hall, 1982.

COSTA, R. F. **Composição Corporal: teoria e prática da avaliação**. 1. ed. Barueri: Manole, 2001.

CUNHA, S.I.O.A. Avaliação da percentagem de massa gorda numa população pediátrica: Comparação entre os métodos DXA e antropometria. Funchal: Universidade da Madeira, 2008.

DEEPASHINI, H.; OMAR, B.; PAUNGMALI, A.; AMARAMALAR, N.; OHNMAR, H. et al. An insight into the plantar pressure distribution of the foot in clinical practice: Narrative review. **Polish Annals of Medicine**, v. 21, n. 1, p. 51–56, 2014.

DEMERATH, E.W.; JOHNSON, W.; DAVERN, B.A.; ANDERSON, C.G.; SHENBERGER, J.S. et al. New body composition reference charts for preterm infants. **American Journal of Clinical Nutrition**, n. 105, p. 70–77, 2017.

DEMMER, D.L.; BEILIN, L.J.; HANDS, B.; BURROWS, S.; PENNELL, C.E. et al. Dual energy X-ray absorptiometry compared with anthropometry in relation to cardio-metabolic risk factors in a young adult population: Is the “gold standard” tarnished? **PLoS ONE**, v. 11, n. 9, p. 1–12, 2016.

DEURENBERG, P.; WESTSTRATE, J. A.; SEIDELL, J. C. Body mass index as a measure of body fatness: age- and sex-specific prediction formulas. **The British journal of nutrition**, v. 65, n. 2, p. 105–14, 1991.

DUMITH, S.C.; DOMINGUES, M.R.; GIGANTE, D.P.; HALLAL, P.C.; MENEZES, A.M.B. et al. Prevalence and correlates of physical activity Southern Brazil. **Revista de Saúde Pública**, v. 44, n. 3, p. 457–467, 2010.

DUMITH, S.C.; FARIAS JÚNIOR, J.C. Sobrepeso e obesidade em crianças e adolescentes: comparação de três critérios de classificação baseados no índice de massa corporal. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 28, n. 1, p. 30-35,

2010.

DURNIN, J. V. G. A.; RAHAMAN, M. M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. **The British journal of nutrition**, v. 21, n. 3, p. 681–9, ago. 1967.

EISENMANN, J.C.; HEELAN, K.A.; WELK, G.J. Assessing body composition among 3-to-8-years-old children: Anthropometry, BIA, and DXA. **Obesity Research**, v. 12, n. 10, p. 1633-1640, 2012.

ELBERG, J.; MCDUFFIE, J.R.; SEBRING, N.G.; SALAITA, C.; KEIL, M. et al. Comparison of methods to assess change in children's body composition. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, n. 1, p. 64-69, 2004.

ELLIS, K.J. Body composition of a young, multiethnic male population. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 66, p. 1323-1331, 1997.

ELLIS, K. J. Human body composition: in vivo methods. **Physiological reviews**, v. 80, n. 2, p. 649–680, 2000.

ELLIS, K.J.; ABRAMS, S.A.; WONG, W.W. Body composition of a young, multiethnic female population. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 65, p. 724-731, 1997.

FAN, B.; SHEPHERD, J.A.; LEVINE, M.A.; STEINBERG, D.; WACKER, W. et al. National Health and Nutrition Examination Survey Whole-Body Dual-Energy X-Ray Absorptiometry Reference Data for GE Lunar Systems. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 17, n. 3, p. 344–377, 2014.

FARIA, E.R.; FARIA, F.R.; GONÇALVES, V.S.S.; FRANCESCHINI, S.D.C.C.; PELUZIO, L.F. et al. Prediction of body fat in adolescents: Comparison of two electric bioimpedance. **Nutricion Hospitalaria**, v. 30, n. 6, p. 1270-1278.

FARR, J.N.; LOAN, M.D.V.; LOHMAN, T.G.; GOING, S. Lower physical activity is associated with skeletal muscle fat content in girls. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 44, n. 7, p. 1375–1381, 2012.

FARR, J.N.; LADDU, D.R.; BLEW, R.M.; LEE, V.R.; GOING, S.B. Effects of physical activity and muscle quality on bone development in girls. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 45, n. 12, p. 2332–2340, 2013.

FARR, J. N.; KHOSLA, S. Skeletal changes through the lifespan—from growth to senescence. **Nature Reviews Endocrinology**, v. 11, n. 9, p. 513–521, 2015.

FIELD, A. **Descobrimo a estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FIELDS, D. A.; GORAN, M. I.; MCCRORY, M. A. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: A review. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 453–467, 2002.

FLAVEL, N.A.; OLDS, T.S.; BUCKLEY, J.D.; HAREN, M.T.; PETKOV, J. Anthropometric estimates of total and regional body fat from anthropometry in Latino children. **Obesity Research**, v. 101, n. 12, p. 1253-1259, 2012.

FOSBØL, M. O.; ZERAHN, B. Contemporary methods of body composition measurement. **Clinical Physiology and Functional Imaging**, v. 35, n. 2, p. 81–97, 2015.

FREEDMAN, D.S.; OGDEN, C.L.; BLANCK, H.M.; BORRUD, L.G.; DIETZ, W.H. The abilities of body mass index and skinfold thicknesses to identify children with low or elevated levels of dual-energy x-ray absorptiometry-determined body fatness. **The Journal of Pediatrics**, v. 163, n. 1, p. 160-166, 2013.

GIANCHETTI, A.; LOVATO, C.; PISCITELLI, F.; MILANESE, C.; ZANCANARO, C. Robust automatic measurement of 3D scanned models for human body fat estimation. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 19, n. 2, p. 660-667, 2015.

GOBATO, A.O.; VASQUES, A.C.J.; ZAMBON, M.P.; BARROS FILHO, A.A.B.; HESSEL, G. Síndrome metabólica e resistência à insulina em adolescentes obesos. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 32, n. 1, p. 55–62, 2014.

GOLDFIELD, G.S.; SAUNDERS, T.J.; KENNY, G.P.; HADJIYANNAKIS, S.; PHILLIPS, P. Screen viewing and diabetes risk factors in overweight and obese adolescents. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 44, n. 4, p. S364-S370, 2013.

GÓMEZ-CAMPOS, R.; LANGER, R.D.; GUIMARÃES, R.F.; MARTINI, M.C.S.; COSSIO-BOLAÑOS, M. et al. Accuracy of body mass index cutoffs for classifying obesity in Chilean children and adolescents. **International Journal of**

**Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 472, p. 1–9, 2016.

GORDON, C.M.; BACHRACH, L.K.; CARPENTER, T.O.; CRABTREE, N.; FULEIHAN, G.E. et al. Dual Energy X-ray Absorptiometry Interpretation and Reporting in Children and Adolescents: The 2007 ISCD Pediatric Official Positions. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 11, n. 1, p. 43–58, 2008.

GUEDES, D. P. Procedimentos clínicos utilizados para análise da composição corporal. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, v. 15, n. 1, p. 113–129, 2013.

GUNTSCHKE, Z.; GUNTSCHKE, E.M.; SARAVÍ, F.D.; GONZALEZ, L.M.; AVELLANEDA, C.L. et al. Umbilical waist-to-height ratio and trunk fat mass index (DXA) as markers of central adiposity and insulin resistance in Argentinean children with a family history of metabolic syndrome. **Journal of pediatric endocrinology & metabolism: JPEM**, v. 23, n. 3, p. 245–56, 2010.

GURKA, M.J.; KUPERMINC, M.N.; BUSBY, M.G.; BENNIS, J.A.; GROSSBERG, R.I. et al. Assessment and correction of skinfold thickness equations in estimating body fat in children with cerebral palsy. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 52, n. 2, p. e35-41, 2010.

HABIB, S.S. Body mass index and body fat percentage in assessment of obesity prevalence in saudi adults. **Biomedics and Environmental Science**. v. 26, n. 2, p. 94-99, 2013.

HARIRI, A.A.; OLIVER, N.S.; JOHNSTON, D.G.; STEVENSON, J.C. GODSLAND, I.F. Adiposity measurement by BMI, skinfold and dual-energy x-ray absorptiometry in relation to risk markers for cardiovascular disease and diabetes in adult males. **Disease Markers**, v. 35, n. 6, p. 753-764, 2013.

HELBA, M.; BINKOVITZ, L.A. Pediatric body composition analysis with dual-energy x-ray absorptiometry. **Pediatric Radiology**, v. 39, n. 7, p. 647-656, 2009.

HEYMSFIELD, S.B.; LICHTMAN, S.; BAUMGARTNER, R.N.; WANG, J.; KAMEN, Y. et al. Body composition of humans: Comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 52, n. 1, p. 52-58, 1990.

HOSMER, D. W.; LEMESHOW, S. **Applied Logistic Regression**. New York: Wiley, 2000.

HUANG, T.T.K.; WATKINS, M.P.; GORAN, M.I. Predicting total body fat from anthropometry in Latino children. **Obesity Research**, v. 11, n. 10, p. 1192-1199, 2003.

HUSSAIN, Z.; JAFAR, T.; ZUZMAN, M.; PARVEEN, R.; SAEED, F. Correlations of skin fold thickness and validation of prediction equations using DEXA as the gold standard for estimation of body fat composition in Pakistani children. **BMJ Open**, v. 4, n. 4, e004194, 2014.

KELLY, T. L.; WILSON, K. E.; HEYMSFIELD, S. B. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES. **PloS one**, v. 4, n. 9, p. 1-8, 2009.

KHADGAWAT, R.; MARWAHA, R.K.; TANDON, N.; MEHAN, N.; UPADHYAY, A.D. et al. Percentage body fat in apparently healthy school children from northern India. **Indian Pediatrics**, v. 50, n. 9, p. 859–866, 2013.

KIM, K.; YUN, S.H.; JANG, M.J.; OH, K.W. Body Fat Percentile Curves for Korean Children and Adolescents: A Data from the Korea National Health and Nutrition Examination Survey 2009-2010. **Journal of Korean Medical Science**, v. 28, n. 3, p. 443–449, 2013.

KNUTH, A.G.; MALTA, D.C.; DUMITH, S.C.; PEREIRA, C.A.; MORAIS NETO, O.L. et al. Prática de atividade física e sedentarismo em brasileiros: resultados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) – 2008. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 16, n. 9, p. 3697–3705, 2011.

KOKSHAROVA, E.; USTYUZHANIN, D.; PHILIPPOV, Y.; MAYOROV, A.; SHESTAKOVA, M. et al. The Relationship Between Brown Adipose Tissue Content in Supraclavicular Fat Depots and Insulin Sensitivity in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus and Prediabetes. **Diabetes Technology & Therapeutics**, v. 19, n. 2, p. 96–102, 2017.

KOWAL, M.; KRYSZ, L.; WORONKOWICZ, A.; BRUDECKI, J.; SOBIECKI, J. Time trends in BMI, body fatness, and adiposity rebound among boys from Krakow (Poland) from 1983 to 2010. **American Journal of Human Biology**, v. 27, n. 5, p. 646–653, 2015.

KUPERMINE, M.N.; GURKA, M.J.; BENNIS, J.A.; BUSBY, M.G. GROSSBERG, R.I. et al. Anthropometric measures: Poor predictors of body fat in children with moderate to

severe cerebral palsy. **Development Medicine and Child Neurology**, v. 52, n. 9, p. 824-830, 2010.

KURIYAN, R.; THOMAS, T.; ASHOK, S.; JAYAKUMAR, J.; KURPAD, A.V. A 4-compartment model based validation of air displacement plethysmography, dual energy x-ray absorptiometry, skinfold techniques & bio-electrical impedance for measuring body fat in Indian adults. **The Indian Journal of Medical Research**, v. 139, n. 5, p. 700-707, 2014.

LAURSON, K. R.; EISENMANN, J. C.; WELK, G. J. Body Fat Percentile Curves for US Children and Adolescents. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 41, n. 4, p. S87–S92, 2011.

LAZARUS, R.; BAUR, L.; WEBB, K.; BLYTH, F. Body mass index in screening for adiposity in children and adolescents: systematic evaluation using receiver operating characteristic curves. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 63, n. 4, p. 500-506, 1996.

LIN, L.I.K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v. 45, n. 1, p. 255-268, 1989.

LIU, L.F.; ROBERTS, R.; MOYER-MILEUR, L.; SAMSON-FANG, L. Determination of body composition in children with cerebral palsy: Bioelectrical impedance analysis and anthropometry vs dual-energy x-ray absorptiometry. **Journal of the American Dietetic Association**, v.105, n. 5, p. 794-797, 2005

LOFT, A.; FORSS, I.; MANDRUP, S. Genome-Wide Insights into the Development and Function of Thermogenic Adipocytes. **Trends in Endocrinology & Metabolism**, v. 28, n. 2, p. 104–120, 2016.

LOHMAN, T.G. Advances in body composition assessment. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 25, n. 6, p. 762, 1993.

LOHMAN, T. G. Skinfolds and body density and their relation to body fatness: a review. **Human biology**, v. 53, n. 2, p. 181–225, 1981.

LÓPEZ SÁNCHEZ, G. L.; LÓPEZ SÁNCHEZ, L.; DÍAZ SUÁREZ, A. Composición corporal y variabilidad de la frecuencia cardiaca: Relaciones con edad, sexo, obesidad y actividad física. **SportTK: Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte**, v. 4, n. 2 : p. 33–40, 2015.

MARRODAN, M.D.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, J.R.; ESPINOSA, M.G.; LÓPEZ-EJEDA, N.; CABAÑAS, M.D. et al. Precisión diagnóstica del índice cintura-talla para la identificación del sobrepeso y de la obesidad infantil. **Medicina Clínica**, v. 140, n. 7, p. 296–301, 2013.

MARRODAN, M.D.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, J.R.; ESPINOSA, M.G.; CARMENATE, M.M.; LÓPEZ-EJEDA, N. et al. Predicting percentage body fat through waist-to-height ratio (WtHR) in Spanish schoolchildren. **Public Health Nutrition**, v. 17, n. 4, p. 870–876, 2014.

MELLO, M.; DAMASO, A.; ANTUNES, H.; SIQUEIRA, K.; CASTRO, M. et al. Body composition evaluation in obese adolescents: The use of two different methods. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 11, n. 5, p. 251-254, 2005.

MIDORIKAWA, T.; OHTA, M.; HIKIHARA, Y.; TORII, S.; BEMBEM, G. et al. Predicting total fat mass from skinfold thickness in Japanese prepubertal children: a cross-sectional and longitudinal validation. **Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition**, v. 20, n. 3, p. 426-431, 2011.

MIDORIKAWA, T.; OHTA, M.; HIKIHARA, Y.; TORII, S.; BEMBEM, G. et al. Prediction and validation of total and regional fat mass by B-mode ultrasound in Japanese pre-pubertal children. **British Journal of Nutrition**, v. 106, n. 6, p. 944-950, 2011.

MINGHELLI, B.; MARREIROS, N.; VALENTE, F.; RIBEIRO, T.; ANDREZ, T. et al. Desenvolvimento do arco plantar na infância e adolescência: análise plantar em escolas públicas. **Saúde e Tecnologia**, v. 5, p. 5–11, 2011.

MODESTO, J.D.; BERALDO, L.M.; ULBRICHT, L. Avaliação do sobrepeso por modelos baseados em massa, estatura e idade em adolescents do sexo masculino. In: Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica, 2014, Uberlândia. **Anais do XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica**. Uberlândia: p. 130-133.

MOREIRA, P.V.S.; SILVA, A.M.; CROZARA, A.P.; VELOSO, A.P.; VIEIRA, F. Análise de equações preditivas da gordura corporal em jovens atletas de "taekwondo". **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**. v. 26, n. 3, p. 391-399, 2012.

MUST, A.; DALLAL, G. E.; H, D. W. Reference data for obesity: 85th and 95th percentiles of body mass index (wt/ht<sup>2</sup>) and triceps skinfold thickness. **American**



**Journal of Clinical Nutrition**, v. 54, n. 4, p. 839–46, 1991.

NAMBIAR, S.; HUGHES, I.; DAVIES, P. S. Developing waist-to-height ratio cut-offs to define overweight and obesity in children and adolescents. **Public health nutrition**, v. 13, n. 10, p. 1566–74, 2010.

NEVES, E.B.; KRUEGER, E.; ROSÁRIO, B.; OLIVEIRA, M.; POL, S. et al. Fat percentage equation for children with cerebral palsy: A novel approach. In: XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing, 2013, Sevilha. **Annals of XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing**, Sevilha: p. 121-124, 2014.

PRIOR, B.M.; CURETON, K.J.; MODLESKY, C.M.; EVANS, E.M.; SLONIGER, M.A. et al. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy x-ray absorptiometry. **Journal of Applied Physiology**, v. 83, n. 2, p. 623-630, 1997.

OEFFINGER, D.J.; GURKA, M.J.; KUPERMINC, M.; HASSANI, S.; BUHR, N. et al. Accuracy of skinfold and bioelectrical impedance assessment of body fat percentage in ambulatory individuals with cerebral palsy. **Developmental Medicine and Child Neurology**, v. 56, n. 5, p. 475-481, 2014.

OLIVEIRA, F.L.C.; TADDEI, J.A.A.C.; ESCRIVÃO, M.A.M.S.; COBAYASHI, F.; BARROS, M.E. et al. Accuracy of obesity diagnosis in Brazilian adolescents: comparison of Cole et al and Must et al criteria with DXA percentage of fat mass. **Nutrición hospitalaria**, v. 21, n. 4, p. 484–490, 2006.

ONIS, M.; ONYANGO, A.W.; BORGHI, E.; SIYAM, A.; NISHIDA, C. et al. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 85, n. 9, p. 660–667, 2007.

PARIZKOVA, J. Total body fat and skinfold thickness in children. **Metabolism: Clinical and Experimental**, v. 10, p. 794-809, 1961.

PARKER, L., REILLY, J.J.; SLATER, C.; WELLS, J.C.; PITSILADIS, Y. Validity of six field and laboratory methods for measurement of body composition in boys. **Obesity**, v. 11, n. 7, p. 852-858, 2003.

PIETROBELLI, A.; FORMICA, C.; WANG, Z.; HEYMSFIELD, S.B. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. **The American journal of physiology**, v. 271, p. E941–E951, 1996.

PLOEG, G.E.V.; WITHERS, R.T.; LAFORGIA, J. Percentage body fat via DEXA: Comparison with a four-compartment model. **Journal of Applied Physiology**, v. 94, n. 2, p. 499-506, 2003.

RAZALI, N.M.; WAH, Y.B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, lilliefors and Anderson-Darling tests. **Journal of Statistical Modeling and Analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

QUADER, Z.S.; GILLESPIE, C.; SLIWA, S.A.; AHUJA, J.K.C.; BURDG, J.P. et al. Sodium Intake among US School-Aged Children: National Health and Nutrition Examination Survey, 2011-2012. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 117, n. 1, p. 39-47, 2016.

QUETELET, A. **Sur l'homme et le développement de ses facultés**. Paris: Bachalier, 1835.

REILLY, J.; KELLY, J. Long-term impact of overweight and obesity in childhood and adolescence on morbidity and premature mortality in adulthood: systematic review. **International Journal of Obesity**, v. 35, n. 10, p. 891–898, 2010.

RIPKA, W.L.; MODESTO, J.D.; ULBRICHT, L.; GEWEHER, P.M. Obesity Impact Evaluated from Fat Percentage in Bone Mineral Density of Male Adolescents. **Plos One**, v. 11, n. 9, e0163470, 2016a.

RIPKA, W.L.; ULBRICHT, L.; BERALDO, L.M.; GEWEHR, P.M. Portable A-mode Ultrasound for Body Composition Assessment in Adolescents. **Journal of Ultrasound in Medicine**, v. 35, p. e1–e6, 2016b.

RIZZO, A.P.C.B.; GOLDBERG, T.B.L.; SILVA, C.C.; KUROKAWA, C.S.; NUNES, H.R.C. et al. Metabolic syndrome risk factors in overweight, obese, and extremely obese brazilian adolescents. **Nutrition journal**, v. 12, n. 19, p. 1-7, 2013.

RODRIGUEZ, G.; MORENO, L.; BLAY, M.; BLAY, V.; FLETA, J. et al. Body fat measurement in adolescents: Comparison of the skinfold thickness equations with dual-energy x-ray absorptiometry. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1158-1166, 2005.

ROMERO-VELARDE, E.; VÁSQUEZ-GARIBAY, E.M.; ÁLVAREZ-ROMÁN, Y.A.; FONSECA-REYES, S.; TORAL, E.C. et al. Circunferencia de cintura y su asociación con factores de riesgo cardiovascular en niños y adolescentes con obesidad. **Boletín**

**Médico del Hospital Infantil de México**, v. 70, n. 5, p. 358–363, 2013.

SARDINHA, L.B.; GOING, S.B.; TEIXEIRA, P.J.; LOHMAN, T.G. A Receiver operating characteristic analysis of body mass index, triceps skinfold thickness, and arm girth for obesity screening in children and adolescents. **American Journal of Clinical Nutrition**, v. 70, n. 6, p. 1090-1095, 1999.

SCHOMMER, V.A.; BARBIERO, S.M.; CESA, C.C.; OLIVEIRA, R.; SILVA, A.D. et al. Excesso de peso, Variáveis Antropométricas e Pressão Arterial em Escolares de 10 a 18 Anos. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 102, n. 4, p. 312–318, 2014.

SCHWANDT, P.; ECKARDSTEIN, A.; HAAS, G.M. Percentiles of percentage body fat in German children and adolescents: An international comparison. **International Journal of Preventive Medicine**, v. 3, n. 12, p. 846-852, 2012.

SIGULEM, D.M.; DEVINCENZI, M.U. LESSA, A.C. Diagnóstico do estado nutricional da criança e do adolescente. **Jornal de Pediatria**, v. 76, suplemento 3, p. s275-284, 2000.

SILVA, A. M.; FIELDS, D. A.; SARDINHA, L. B. A PRISMA-Driven Systematic Review of Predictive Equations for Assessing Fat and Fat-Free Mass in Healthy Children and Adolescents Using Multicomponent Molecular Models as the Reference Method. **Journal of obesity**, v. 2013, n. 148696, p. 1–14, 2013.

SILVA, D.R.; RIBEIRO, A.S.; PAVÃO, F.H.; RONQUE, E.R.; AVELAR, A. et al. Validade dos métodos para avaliação da gordura corporal em crianças e adolescentes por meio de modelos multicompartimentais: uma revisão sistemática. **Revista da Associação Médica Brasileira**, n. 59, v. 5, p. 478-486, 2013.

SILVA, D.R.P.; OHARA, D.; TOMELERI, C.M.; BATISTA, M.B.; FERNANDES, R.A. et al. Association between risk behaviors and adiposity indicators in adolescents from Southern Brazil: A methodological approach. **Journal of child health care**, v. 20, n. 3, p. 314–323, 2016.

SIRI, W.E. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. **Techniques for Measuring Body Composition**, p. 223-244, 1961.

SLAUGHTER, M.H.; LOHMAN, T.G.; BOILEAU, R.A.; HORSWILL, C.A.; STILLMAN, M.D. et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. **Human biology**, v. 60, n. 5, p. 709–23, 1988.

SLETNER, L.; NAKSTAD, B.; YAJNIK, C.S.; MØRKRID, K.; VANGEN, S. et al. Ethnic differences in neonatal body composition in a multi-ethnic population-based cohort study. **PLoS One**, v. 8, n. 8, e73058, 2013.

SOPHER, A.B.; THORNTON, J.C.; WANG, J.; PIERSON, R.N.; HEYMSFIELD, S.B. et al. Measurement of percentage of body fat in 411 children and adolescents: A comparison of dual-energy x-ray absorptiometry with a four-compartment model. **Pediatric**, v. 113, n. 11, p.1285-1290, 2004.

SPROULE, M.D.; MONTES, J.; DUNAWAY, S.L.; MONTGOMERY, M.; BATTISTA, V. et al. Bioelectrical impedance analysis can be a useful screen for excess adiposity in spinal muscular atrophy. **Journal of Child Neurology**, v. 25, n. 11, p. 1348-1354, 2010.

STABELINI NETO, A.; BOZZA, R.; ULBRICH, A.; MASCARENHAS, L.P.G.; BOGUSZEWSKI, M.C.S. et al. Síndrome metabólica em adolescentes de diferentes estados nutricionais. **Arquivos brasileiros de endocrinologia e metabologia**, v. 56, n. 2, p. 104–109, 2012.

STALLINGS, V.A.; CRONK, C.E.; ZEMEL, B.S.; CHARNEY, E.B. Body composition in children with spastic quadriplegic cerebral palsy. **The Journal of Pediatrics**, v. 126, n 5, p. 833-839, 1995.

STALLINGS, V.A.; ZEMEL, B.S.; DAVIES, J.C.; CRONK, C.E.; CHARNEY, E.B. Energy expenditure of children and adolescents with severe disabilities: A cerebral palsy model. **Pediatrics**, v. 64, n. 4, p. 627-634, 1996.

STEVENSON, R.D.; CONAWAY, M.; CHUMLEA, W.C.; ROSENBAUM, P.; FUNG, E.B. et al. Growth and health in children with moderate-to-severe cerebral palsy. **Pediatrics**, v. 118, n. 3, p. 1010-1018, 2006.

STURLA, L., MANNINO, E.; SCARFI, S.; BRUZZONE, S.; MAGNONE, M. et al. Abscisic acid enhances glucose disposal and induces brown fat activity in adipocytes in vitro and in vivo. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1862, n. 2, p. 131–144, 2017.

SVENDSEN, O.L.; HAARBO, J.; HASSANGER, C.; CHRISTIANSEN, C. Accuracy of measurement of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 57, n. 5, p. 605-608, 1993.

TENÓRIO, M.; BARROS, M. TASSITANO, R. BEZERRA, J.; TENÓRIO, J. et al. Atividade física e comportamento sedentário em adolescentes estudantes do ensino médio. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 13, n. 1, p. 105-117, 2010.

TESTOLIN, C.G.; GORE, R.; RIVKIN, T.; HORLICK, M.; ARBO, J. et al. Dual-energy x-ray absorptiometry: analysis of pediatric fat estimate errors due to tissue hydration effects. **Journal of Applied Physiology**, v. 89, n. 6, p. 2365-2372, 2010.

THIBAUT, R.; GENTON, L.; PICHARD, C. Body composition: why, when and for who? **Clinical Nutrition**, v. 31, n. 4, p. 435-447, 2012.

TOMOUM, H.Y.; BADAWY, N.B.; HASSAN, N.E.; ALIAN, K.M. Antropometry and body composition analysis in children with cerebral palsy. **Clinical Nutrition**, v. 29, n. 4, p. 477-481, 2010.

TOOMBS, R.J.; DUCHER, G.; SHEPHERD, J.A.; SOUZA, M.J. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. **Obesity**, v. 20, n. 1, p. 30–9, jan. 2012.

TROFHOLZ, A.C.; TATE, A.D.; DRAXTEN, M.L.; ROWLEY, S.S.; SCHULTE, A.K. et al. What's Being Served for Dinner? An Exploratory Investigation of the Associations between the Healthfulness of Family Meals and Child Dietary Intake. **Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics**, v. 117, n. 1, p. 102–109, 2015.

TUAN, N.T.; WANG, Y. Adiposity assessment: agreement between dual-energy x-ray absorptiometry and anthropometric measures in U.S. children. **Obesity**, v. 22, n. 6, p-1495-1504, 2014.

ULBRICHT, L.; NEVES, E.B.; RIPKA, W.; ROMANELI, E.F.R. Comparison between body fat measurement obtained by portable ultrasound and caliper in young adults. In: 34th Annual Conference of the IEEE EMBS, San Diego, 2012. **Annals of the 34th Annual Conference of the IEEE EMBS**, San Diego, p. 1952-1955, 2012.

WANG, L.; HUI, S. S.-C. Diagnostic accuracy of different body weight and height-based definitions of childhood obesity in identifying overfat among Chinese children and adolescents: a cross-sectional study. **BMC public health**, v. 15, n. 802, p. 1-7, 2015.

WELLS, J.C.K.; FULLER, N.J.; DEWIT, O.; FEWTRELL, M.S.; ELIA, M. et al. Four-component model of body composition in children: Density and hydration of fat-free mass and comparison with simpler models. **American Journal of Clinical Nutrition**,

v. 69, n. 5, p. 904–912, 1999.

WELLS, J.C.; HAROUN, D.; WILLIAMS, J.E.; WILSON, C.; DARCH, T. et al. Evaluation of DXA against the four-component model of body composition in obese children and adolescents aged 5-21 years. **International Journal of Obesity**, v. 34, n. 4, p. 649-655, 2010.

WILLIAMS, D.P.; GOING, S.B.; LOHMAN, T.G.; HARSHA, D.W.; SRINIVASAN, S.R. et al. Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents. **American journal of public health**, v. 82, n. 3, p. 358–63, 1992.

WILLIAMS, J.E.; WELLS, J.C.; WILSON, C.M.; HAROUN, D.; LUCAS, A. et al. Evaluation of Lunar Prodigy dual-energy x-ray absorptiometry for assessing body composition in healthy persons and patients by comparison with the criterion 4-component model. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 83, n. 5, p. 1047-1054, 2006.

WONG, W.W.; HERGENROEDER, A.C.; STUFF, J.E.; BUTTE, N.F.; SMITH, E.O.B. et al. Evaluating body fat in girls and female adolescents: Advantages and disadvantages of dual-energy x-ray absorptiometry. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 76, n. 2, p. 384-389, 2002.

ZIPF, G.; CHIAPPA, M.; PORTER, K.S.; OSTCHEGA, Y.; LEWIS, B.G. et al. National health and nutrition examination survey: plan and operations, 1999-2010. **Vital and health statistics**, v. 1, n. 56, p. 1–37, 2013.