



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
INSTITUTO DE NUTRIÇÃO JOSUÉ DE CASTRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NUTRICIONAIS

TATHIANY JÉSSICA FERREIRA

**ANÁLISE DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
EM INDIVÍDUOS ADULTOS: CONCORDÂNCIA ENTRE A
ABSORCIOMETRIA DE RAIOS X DE DUPLA ENERGIA E
MÉTODOS ALTERNATIVOS**

Rio de Janeiro
2024

TATHIANY JÉSSICA FERREIRA

**ANÁLISE DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL
EM INDIVÍDUOS ADULTOS: CONCORDÂNCIA ENTRE A
ABSORCIOMETRIA DE RAIOS X DE DUPLA ENERGIA E
MÉTODOS ALTERNATIVOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição (PPGN), do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciências Nutricionais.

Orientadora: Profa. Dra. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci.

Coorientadora: Profa. Dra. Maria Aderuza Horst.

Rio de Janeiro
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

CIP - Catalogação na Publicação

F383a Ferreira, Tathiany Jéssica
Análise do percentual de gordura corporal em indivíduos adultos: Concordância entre a Absorciometria de raios x de dupla energia e métodos alternativos / Tathiany Jéssica Ferreira. - Rio de Janeiro, 2024.
203 f.

Orientadora: Anna Paola Trindade Rocha Pierucci.
Coorientadora: Maria Aderuza Horst.
Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Nutrição Josué de Castro, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, 2024.

1. Composição Corporal. 2. Concordância entre métodos. 3. Absorciometria de raios X de dupla energia. 4. Percentual de gordura corporal. I. Pierucci, Anna Paola Trindade Rocha, orient. II. Horst, Maria Aderuza, coorient. III. Título.

TATHIANY JÉSSICA FERREIRA

ANÁLISE DO PERCENTUAL DE GORDURA CORPORAL EM INDIVÍDUOS ADULTOS: CONCORDÂNCIA ENTRE A ABSORCIOMETRIA DE RAIOS X DE DUPLA ENERGIA E MÉTODOS ALTERNATIVOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Nutrição (PPGN), do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Ciências Nutricionais.

Aprovada em

Professora Dr^a Anna Paola Trindade Rocha Pierucci

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto de Nutrição Josué de Castro
Orientadora

Professora Dr^a Eliane Lopes Rosado

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto de Nutrição Josué de Castro
Revisora

Professora Dr^a Wilza Arantes Ferreira Peres

Universidade Federal do Rio de Janeiro/Instituto de Nutrição Josué de Castro
Banca Examinadora

Professor Dr^o Fernando Lamarca Pardo

Universidade Estadual do Rio de Janeiro/Instituto de Nutrição
Banca Examinadora

Professora Dr^a Flávia Fioruci Bezerra

Universidade Estadual do Rio de Janeiro/Instituto de Nutrição
Banca Examinadora

Professora Dr^a Vivian Wahrlich

Universidade Federal Fluminense/Faculdade de Nutrição Emília de Jesus
Ferreiro
Banca Examinadora

*Dedico este trabalho à Deus, aos meus pais, à minha irmã e minhas avós.
Meu alicerce.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por iluminar meu caminho e cuidar de cada detalhe para que este momento acontecesse. Minha fonte de toda sabedoria e força, em cada desafio, encontrei conforto em Sua graça e, nos momentos de dúvida, encontrei fé para continuar.

À minha família, alicerce sólido que sempre me apoiou, dedicando amor, paciência e compreensão incondicionais. Vocês foram e são minha fonte de inspiração e motivação.

Agradeço, em especial aos meus pais, Wesley e Simone, meu pilar inabalável de amor e apoio. Não mediram esforços para que eu estudasse e pudesse ser uma profissional cada dia melhor.

À minha irmã, Danielly, por todo carinho e cuidado.

Às minhas avós, Maria Luíza e Maria de Lourdes, meus maiores tesouros.

Às minhas tias, tios, primos e primas, obrigado por compreenderem os momentos de ausência e por serem minha fonte de afeto.

Ao meu namorado, Pedro, pelo carinho, cuidado, paciência e companhia durante esse período.

Aos meus sogros, Paula e Pedro, minha cunhada, Beatriz e meu xodó, Hiroshi, por serem minha família carioca e apoio nessa jornada.

Gostaria de estender meu agradecimento especial aos membros peludos, de quatro patas da minha família, meus amados animais de estimação, Kiki, Nala e Pepeto. O afeto incondicional e as horas de companhia silenciosa tornaram os dias de pesquisa mais leves.

Agradeço a minha orientadora, Anna Paola, por ter me dado essa oportunidade, pela orientação sábia, paciência e incentivo constantes. Acreditou, confiou e me proporcionou oportunidades incríveis e inesquecíveis. Suas contribuições foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À minha coorientada, Maria Aderuza, que me acompanha desde a graduação. Obrigada por ter aceitado e compartilhado mais essa jornada.

Agradeço aos meus amigos de pesquisa Carolina Pessanha, Luiz Lannes, Ana Luiza, Juliana, Paula Franca, Taillan, Renatinha, Jaqueline e Igor. Vocês foram essenciais nessa trajetória, fizeram esse percurso se tornar mais leve e

divertido. Obrigado por serem mais do que parceiros de pesquisa, vocês são família e morada aqui no Rio.

Aos meus alunos de Iniciação Científica e extensão do Programa de Alimentação e Nutrição do Atleta (PRANA), Juliana, Jamilly, Fernanda, Júlia e Rudson pela dedicação e entusiasmo.

Ao meu grupo de pesquisa *Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais* (DAFEE) que me acolheram desde o primeiro dia e me fizeram sentir parte desse grupo muito especial. Obrigada pela oportunidade de trabalhar em equipe com pessoas tão qualificadas.

Agradeço as minhas amigas Nathália, Karol, Ana Carolina, Anna Laura, Iasmim, Adriana, Maria Nathália, Charlene, Jéssika, Bruna, Lari, Pâmela, Amanda, Renata, Tia Luciana e Luciene e aos amigos, Renato, João Pedro e Fred e que mesmo estando longes, em outro estado se fazem presente na minha rotina, sendo conforto, leveza e suporte.

Agradeço as minhas amigas, Lavínia, Mirella, Carol Coimbra, Alessandra e Kevin que me acolheram no Rio de Janeiro. Obrigada pela companhia e amizade.

Agradeço também aos voluntários da pesquisa, pela confiança, aprendizados e disponibilidade durante esse período.

Agradeço a Prof^a Aline por todos os ensinamentos e suporte nas análises estatísticas e a Prof^a Dr^a Josely por todo auxílio, disponibilidade e considerações para a melhoria do trabalho.

Aos professores membros da banca de qualificação e defesa, agradeço a disponibilidade e as contribuições, que, sem dúvidas, irão tornar a tese ainda melhor.

A todos os professores e funcionários do Instituto de Nutrição Josué de Castro, por todos os ensinamentos e acolhimento.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos durante o curso de doutorado

Por fim, agradeço a todos que puderam contribuir de alguma forma para eu me tornar uma profissional e ser humano melhor. As palavras de gratidão ainda são poucas, mas esta é uma representação sincera do apreço por tê-los ao meu lado nesta jornada significativa. **Muito obrigada!**

Tathiany Ferreira

APRESENTAÇÃO

Esta tese de doutorado faz parte de um projeto de pesquisa matriz intitulado “Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes”. O estudo foi baseado e inspirado na pesquisa de um aluno de pós-doutorado, o qual estimulou e mobilizou o nosso laboratório para uma grandiosa coleta.

O projeto foi conduzido por alunos e pesquisadores do Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (DAFEE), Instituto de Nutrição Josué de Castro (INJC), Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e coordenado pela Prof^a Dr^a Anna Paola Pierucci. Trata-se de um estudo com desenho observacional transversal em adultos. O recrutamento ocorreu entre agosto de 2021 e fevereiro de 2022, a coleta de dados também foi concluída em fevereiro de 2022.

O objetivo dessa tese de doutorado foi avaliar o percentual de gordura corporal por diferentes métodos clássicos e acessíveis, como as dobras cutâneas, análise de impedância bioelétrica, ultrassom modo-A e a foto bidimensional comparados com uma das principais referências na pesquisa clínica, a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA). Minha trajetória na pesquisa aconteceu desde a elaboração e idealização do projeto durante o percurso do meu doutorado no Programa de Pós-Graduação em Nutrição no INJC, UFRJ. Além disso, atuei em todas as demais etapas: agendamento dos voluntários, coleta, treinamentos para manuseio de equipamentos, orientação de alunos de iniciação científica, tabulação de dados, análise estatísticas, participação e apresentação de resumos em eventos científicos nacionais e internacionais e elaboração de artigos científicos.

A pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Houve a concessão de uma bolsa de doutorado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

A pesquisa proporcionou e nos motivou para ir para o American College of Sports Medicine (ACSM) em San Diego, California (EUA), em 2022. O ACSM é um dos eventos de referência em medicina esportiva, ciências do exercício e ciências relacionadas. Foram apresentados resumos em primeira autoria e

coautoria: 1. Ferreira TJ, et al. *Agreement between different body composition methods and dual-energy x-ray absorptiometry in adults*; 2. Pessanha CR, et al. *Development and validation of an equation for bone mineral content and density using anthropometry*. 3. Bittencourt VZ, et al. *Comparison of thickness of adipose tissue between skinfolds and ultrasound method in Brazilian adults*. 4. Salvador IC, et al. *Agreement between skinfold, ultrasound and dual-energy x-ray absorptiometry in adults*. 5. Souza MLR, et al. *Agreement of the body fat percentage evaluated by ultrasound, bioelectrical impedance and DXA in Brazilian adults*. Também foram apresentados dois resumos oriundos da pesquisa no XVII Congresso Internacional de Nutrição Funcional em São Paulo – SP em 2023: 1. Ferreira TJ, et al. *Erro de precisão de diferentes dispositivos de bioimpedância na avaliação do percentual de gordura em adultos* e 2. Pessanha CR, et al. *Desenvolvimento de equações de predição para estimar DMO a partir de variáveis antropométricas com validação por DXA*.

A tese está organizada de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e está estruturado nas seguintes seções: resumo, abstract, introdução, revisão da literatura, justificativa, hipóteses, objetivos, métodos, resultados, considerações finais, referências e anexos.

A seção de resultados e discussão foi apresentada no formato de dois manuscritos escritos em inglês. O primeiro manuscrito é intitulado “*Body fat percentage in adults is better estimated by an artificial intelligence 2D-photo method than other body composition methods compared to DXA*”, o qual será submetido na revista científica NPJ Digital Medicine. O segundo manuscrito intitulado “*Agreement of artificial intelligence two-dimensional photo analysis in estimate body fat percentage in adults: a cross-sectional study with longitudinal validation*”, o qual será submetido na revista científica Nutrition Research. Ambos serão submetidos após as considerações da banca de defesa do doutorado.

No mais, é uma grande honra apresentar os resultados dessa pesquisa para a comunidade científica, o qual contribuiu também para a sociedade na entrega e orientação dos resultados de composição corporal. Diversos voluntários relataram que após a participação na pesquisa mudaram seu estilo de vida, buscando uma alimentação mais saudável e prática de atividade física. Boa leitura!

RESUMO

FERREIRA, Tathiany Jéssica. **Análise do percentual de gordura corporal em indivíduos adultos**: concordância entre a absorciometria de raios x de dupla energia e métodos alternativos. Rio de Janeiro, 2024. Tese (Doutorado em Ciências Nutricionais) – Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Introdução: A avaliação da composição corporal (CC) é uma ferramenta valiosa para acompanhamento e monitoramento do estado nutricional. Investigar a concordância de dispositivos simples e portáteis, como medidas de dobras cutâneas (DC), análise de impedância bioelétrica (BIA), ultrassom (US) modo-A e foto bidimensional (2D), com equipamentos mais precisos e dispendiosos, como a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA), pode fornecer uma alternativa para estimar do percentual de gordura corporal (%GC). **Objetivo: 1.** Avaliar a concordância das DC, BIA, US modo-A e foto 2D comparados com a DXA para estimar o %GC em adultos. **2.** Avaliar a concordância de BIA e foto 2D comparados com a DXA para estimar o %GC em adultos em dois momentos. **Métodos: 1.** Trata-se de um estudo transversal, com 1.273 adultos de 18 a 65 anos. Cada participante foi submetido a medições por DC, dispositivos de BIA (InBody-270, InBCA F-500, Omron HBF-514, AVA-030 e MaltronBF900), US modo-A (BodyMetrix® BX2000), foto 2D e DXA. A concordância foi avaliada pela análise de Bland-Altman e o Coeficiente de Concordância de Correlação de Lin (CCC) considerando a amostra geral e estratificados de acordo com o sexo, idade e índice de massa corporal (IMC). Também foram calculados o erro médio absoluto (EAM), o erro médio absoluto percentual (EMAP) e o erro quadrático médio (EQM). **2.** Trata-se de um estudo transversal com uma validação longitudinal, com 167 adultos. Os participantes foram avaliados em dois momentos (T1 e T2) por dois dispositivos BIA (InBody-270 e Omron HBF-514), foto 2D e DXA. O intervalo entre T1:T2 foi de 12-16 semanas. Para comparar a diferença percentual entre T1:T2 foi realizado o teste t pareado ou teste de Wilcoxon. **Resultados: 1.** Os valores de %GC obtidos por meio de equações preditivas de DC, US modo-A e os dispositivos de BIA InBCA F-500, AVA 300 e Maltron discordam dos valores de DXA (CCC <0,90). Os dispositivos InBody-270

e Omron HBF-514 apresentaram concordância moderada ($CCC = 0,90$ a $0,95$) ao considerar todos os participantes, faixas etárias (> 30 anos) e $IMC > 25$ kg/m². A foto 2D demonstrou concordância substancial, sendo que a maior concordância com DXA ($CCC \geq 0,96$). **2.** A foto 2D (T1: $-1,22$; T2: $-1,29$) e Omron HBF-514 (T1: $-2,32$; T2: $-4,84$) apresentaram menores vieses e limites de concordância em ambos os momentos avaliados. A foto 2D apresentou concordância substancial em ambos os momentos ($CCC < 0,98$). Ao comparar os valores percentuais das diferenças para estimativa do %GC, apenas Omron HBF-514 apresentou diferença estatística entre T1 e T2 ($p = 0,004$). **Conclusão:** **1.** A foto 2D demonstrou menor viés e concordância substancial com o DXA para avaliação do %GC em adultos, considerando sexo, idade e IMC e **2.** A foto-2D pode ter potencial utilidade para rastrear o %GC em momento único e ao longo do tempo. Tais achados constituem uma contribuição valiosa para a implementação de métodos modernos e de baixo custo para a análise do %GC na prática clínica.

Palavras-chave: Composição do corpo; absorciometria de fótons; avaliação antropométrica; impedância bioelétrica; ultrassom; sistemas de visão computacional; massa gorda.

ABSTRACT

FERREIRA, Tathiany Jéssica. **Análise do percentual de gordura corporal em indivíduos adultos:** concordância entre a absorciometria de raios x de dupla energia e métodos alternativos. Rio de Janeiro, 2024. Tese (Doutorado em Ciências Nutricionais) – Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Introduction: Body composition (BC) assessment is a valuable tool for monitoring and evaluating nutritional status. Investigating the agreement of simple and portable devices, such as skinfold (SF) measurements, bioelectrical impedance analysis (BIA), mode-A ultrasound (US), and two-dimensional photo (2D), with more precise and expensive equipment like dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), can provide an alternative estimating body fat percentage (BFP). **Objective: 1.** To assess the agreement of SF, BIA, US mode-A, and 2D photo compared to DXA for estimating BFP in adults. **2.** To assess the agreement of BIA and 2D photography compared to DXA for estimating %BF in adults at two time points. **Methods: 1.** This is a cross-sectional study involving 1,273 adults aged 18 to 65 years. Each participant underwent measurements by SM, BIA devices (InBody-270, InBCA F-500, Omron HBF-514, AVA-030, and MaltronBF900), US mode-A (BodyMetrix® BX2000), 2D photo, and DXA. Agreement was assessed using Bland-Altman analysis and Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) considering the overall sample and stratified by sex, age, and body mass index (BMI). Mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), and mean square error (MSE) were also calculated. **2.** This is a cross-sectional study with a longitudinal validation involving 167 adults. Participants were assessed at two time points (T1 and T2) using two BIA devices (InBody-270 and Omron HBF-514), 2D photo, and DXA. The interval between T1:T2 was 12-16 weeks. To compare the percentage difference between T1:T2, paired t-test or Wilcoxon test was conducted. **Results: 1.** BFP values obtained through predictive equations of SF, US mode-A, and BIA devices InBCA F-500, AVA 300, and Maltron differed from DXA values (CCC <0.90). InBody-270 and Omron HBF-514 devices showed moderate agreement (CCC = 0.90 to 0.95) considering all participants, age groups (>30 years), and BMI >25 kg/m². The 2D

photo demonstrated substantial agreement, with the highest agreement with DXA (CCC ≥ 0.96). **2.** The 2D photo (T1: -1.22; T2: -1.29) and Omron HBF-514 (T1: -2.32; T2: -4.84) exhibited lower biases and narrower limits of agreement at both evaluated time points. The 2D photo showed substantial agreement at both time points (CCC <0.98). Comparing the percentage difference values for BFP estimation, only Omron HBF-514 showed statistical difference between T1 and T2 ($p = 0.004$). Conclusion: **1.** The 2D photo demonstrated lower bias and substantial agreement with DXA for BFP assessment in adults, considering sex, age, and BMI, and **2.** The 2D photo may have potential utility for tracking BFP at a single time point and over time. These findings constitute a valuable contribution to the implementation of modern and cost-effective methods for BFP analysis in clinical practice.

Keywords: Body composition; photon absorptiometry; anthropometric assessment; electrical impedance; ultrasound; computer vision systems; fat mass.

.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo de análise da composição corporal em cinco níveis.....	18
Figura 2.	Diferentes tipos de modelos de composição corporal.	20
Figura 3.	Os modelos de 2C, 3C e 4C da composição corporal (lado esquerdo) e os métodos de determinação (lado direito).....	23
Figura 4.	Princípio fundamental da absorciometria de raios X de dupla energia (DXA).	25
Figura 5.	Avaliação por absorciometria de raios X de dupla energia.....	26
Figura 6.	Exemplo de dobra cutânea bicipital.....	31
Figura 7.	Exemplos de dispositivos análise de impedância bioelétrica.....	43
Figura 8.	O percurso da corrente por meio das células dependente da frequência aplicada.....	44
Figura 9.	Análise da dobra cutânea tricípital por ultrassom modo-A.....	47
Figura 10.	Exemplo vestimentas e posições para imagens realizadas por <i>smartphones</i>	51
Figura 11.	Exemplificação do gráfico de Bland-Altman.	57
Figura 12.	Exemplificação do gráfico de Bland-Altman em porcentagem..	58
Figura 13.	Fluxograma de amostragem do estudo.	72
Figura 14.	Fluxograma da coleta.	73

Manuscrito 1

Figure 1.	Study sampling flowchart.....	114
Figure 2.	Photo protocol, positions, and vestments used in this study..	115
Figure 3.	Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in all participants, men, and women.....	117
Figure 4.	Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in the age range.....	119
Figure 5.	Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in the BMI range	121
Figure 6.	Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) of the various methods evaluated with DXA as the reference for all and stratified for sex, age, and BMI	122

S. Figure 1.	Bland-Altman analyses the difference percentage of BIA and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP in all participants	131
S. Figure 2.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for men.....	132
S. Figure 3.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for women.....	135
S. Figure 4.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (≥ 18 to < 30 years)	137
S. Figure 5.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (< 40 years)	139
S. Figure 6.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (< 50 years).	141
S. Figure 7.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (≥ 50 to ≤ 65 years)	143
S. Figure 8.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI ≤ 24.9 kg/m ²	145
S. Figure 9.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI 25 to 29.9kg/m ²	147
S. Figure 10.	Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI ≥ 30 kg/m ²	149

Manuscrito 2

Figure 1.	Flowchart of subjects' selection.....	155
Figure 2.	Bland–Altman plots for Inbody-270, Omron HBF-514 and AI-2D photo compared to DXA in T1:T2.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Estudos conduzidos em cadáveres para investigar a CC.....	23
Tabela 2.	Exemplos de equações preditivas para cálculo de densidade corporal.....	33
Tabela 3.	Equações preditivas para cálculo de percentual de gordura corporal para ambos os sexos.....	40
Tabela 4.	Vantagens e desvantagens de alguns métodos de avaliação de composição corporal.....	52
Tabela 5.	Resumo de alguns estudos que avaliaram a concordância do %GC comparados a DXA.....	63
Tabela 6.	Equações utilizadas para estimar a densidade corporal e percentual de gordura corporal no presente estudo.....	75
 Manuscrito 1		
Table 1.	General characteristics, anthropometric measurements, body mass index classification, and body fat percentage for all and according to sex	107
Table 2.	Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US, AI-2D photo, and DXA data as the reference method, considering all participants and stratified by sex.....	108
Table 3.	Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering age groups.....	110
Table 4.	Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering BMI classification.....	112
S. Table 1.	Equations used to estimate body density and fat percentage....	123
S. Table 2.	Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US, and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering all participants and stratified for sex, age, and BMI.....	125
 Manuscrito 2		
Table 1.	General characteristics, anthropometric measurements, body mass index, and body fat percent of the participants evaluated in T1 and T2.....	159
Table 2.	Comparison of the percentage of difference and CCC among BIA and AI-2D photo compared to DXA at T1:T2.....	161

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%GC	Percentual de gordura corporal
2C	Bi compartimentada
2D	Bidimensional
3C	Três compartimentos
3D	Tridimensional
4C	Quatro compartimentos
AAN	Análise de ativação de nêutrons
ACT	Água corporal total
AI-2D photo	<i>Artificial intelligence two-dimensional photo</i>
BC	<i>Body composition</i>
BFP	<i>Body fat percentage</i>
BIA	Análise de impedância bioelétrica
BIA	<i>Bioelectrical impedance analysis</i>
BIS	Espectroscopia de bioimpedância
BMI	Body mass index
CAS	Cadaver Analysis Study
CC	Composição corporal
CCC	Coeficiente de Correlação de Concordância
CCC	<i>Lin's Concordance Correlation Coefficient</i>
CMO	Conteúdo mineral ósseo
D₂O	óxido de deutério
DC	Dobras cutâneas
Dc	Densidade corporal
DCA	Dobra cutânea axilar
DCAB	Dobra cutânea abdominal
DCB	Dobra cutânea bicipital
DCC	Dobra cutânea da coxa
DCCI	Dobra cutânea crista-íliaca
DCPA	dobra cutânea panturrilha
DCT	Dobra cutânea tricipital
DCTX	Dobra cutânea torácica
DMO	Densidade mineral óssea
DXA	Absorciometria de raios X de dupla energia
DXA	<i>Dual-energy X-ray absorptiometry</i>
EAM	Erro absoluto médio
EPAM	Erro percentual absoluto médio
Eq	Equação
EQM	Erro quadrático médio
FFM	<i>Fat-free mass</i>
FM	<i>Fat mass</i>
GC	Gordura corporal
IA	Inteligência artificial
ICC	Coeficiente de correlação intraclasse
IMC	Índice de massa corporal
IMG	Índice de massa gorda
IMLG	Índice de massa livre de gordura
ISAK	<i>International Society for the Advancement of Kinanthropometry</i>

KHz	kilohertz
LabDAFEE	Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais
MAE	<i>Mean absolute error</i>
MAPE	<i>Mean absolute percentage error</i>
MG	Massa gorda
MHz	Mega Hertz
ML	<i>Machine learning</i>
MLG	Massa livre de gordura
MSE	<i>Mean squared error</i>
PA	Perímetro abdominal
PAB	Perímetro antebraço
PC	Perímetro da cintura
PDA	Pletismografia por deslocamento de ar
PG	Perímetro glúteo
PH	Pesagem hidrostática
PQ	Perímetro do quadril
r	Coefficiente de correlação
R	Resistência
RCQ	Relação cintura-quadril
S	<i>Sites</i>
SF	<i>Skinfolds</i>
T1	<i>Time 1</i>
T2	<i>Time 2</i>
TCLE	Termo de consentimento livre e esclarecido
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
US	Ultrassom
US	<i>Ultrasound</i>
VC	Visão computacional
Xc	Reatância
Z	Impedância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	18
2.1 COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	18
2.2 MODELOS DE COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	19
2.3 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	22
2.3.1 Métodos diretos	22
2.3.2 Métodos indiretos	24
2.3.2.1 Absorciometria de raios X de dupla energia.....	24
2.3.3 Métodos duplamente indiretos	28
2.3.3.1 Antropometria.....	28
2.3.3.2 Análise por Impedância Bioelétrica.....	41
2.3.3.3 Ultrassom.....	45
2.3.3.4 Visão computacional.....	39
2.3.3.5 Vantagens e desvantagens de alguns métodos de composição corporal.....	51
2.4 CONCORDÂNCIA ENTRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL.....	55
2.4.1 Métodos estatísticos para avaliar concordância entre métodos	55
2.4.2 Concordância entre métodos de composição corporal comparados ao DXA para estimar o percentual de gordura corporal	61
3 JUSTIFICATIVA	68
4 HIPÓTESES	69
4.1 CONCORDÂNCIA ENTRE DXA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA	69
5 OBJETIVOS	70
5.1 OBJETIVO GERAL	70
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	70
5.2.1 Manuscrito 1	70
5.2.2 Manuscrito 2	70
6 MATERIAL E MÉTODOS	71
6.1 DESENHO DO ESTUDO E POPULAÇÃO ALVO	71
6.2 QUESTIONÁRIO DE DADOS GERAIS.....	73
6.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA	74
6.4 DOBRAS CUTÂNEAS.....	74
6.5 ULTRASSOM MODO-A	75

6.6 AVALIAÇÃO FOTOGRÁFICA	76
6.7 ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA CORPORAL	76
6.8 ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA	77
6.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	78
7 RESULTADOS.....	79
7.1 MANUSCRITO 1.....	79
7.2 MANUSCRITO 2.....	149
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	171
REFERÊNCIAS.....	172
ANEXOS	187

1 INTRODUÇÃO

A composição corporal (CC) é o estabelecimento do percentual dos diferentes componentes corporais em relação a massa corporal total (HUME; ACKLAND, 2017). É frequentemente utilizada na prática clínica como uma ferramenta valiosa para a avaliação e monitoramento do estado nutricional, bem como na elaboração de estratégias nutricionais e no acompanhamento de intervenções terapêuticas (HOLMES; RACETTE, 2021; MARRA et al., 2019). Pode ser utilizada para avaliar os componentes corporais em saúde, no desempenho esportivo (CAMPA et al., 2021) e em doenças, como investigações de obesidade e desnutrição, perda de peso após cirurgia bariátrica, câncer, sarcopenia, osteopenia e osteoporose (HOLMES; RACETTE, 2021; LEMOS; GALLAGHER, 2017).

A nível molecular, o corpo humano é composto principalmente de massa gorda (MG) e massa livre de gordura (MLG), que inclui a água corporal total (ACT) e o conteúdo mineral ósseo (CMO) (HEYMSFIELD et al., 2015). Dentre estes, a gordura é um dos componentes mais estudados. O acúmulo excessivo de gordura corporal (GC) está diretamente relacionado ao diagnóstico de sobrepeso e obesidade e risco elevado de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes mellitus tipo 2, os quais contribuem para o aumento da morbimortalidade mundial (JAYEDI et al., 2022; PARK et al., 2019).

Adultos com índice de massa corporal (IMC) ≥ 25 e ≥ 30 kg/m² são classificados com sobrepeso e obesidade, respectivamente. Estima-se um aumento de 38% da população mundial com excesso de peso em 2020 para mais de 50% em 2035 (World Obesity Atlas 2023, 2023). Com o aumento da prevalência da obesidade e das doenças relacionadas ao estilo de vida, há uma necessidade cada vez maior de métodos de CC com maior sensibilidade e precisão (KURIYAN, 2018). O IMC é um bom indicador de saúde, mas não fornece informações sobre a distribuição e a proporção da MG (ABESO, 2016). Neste contexto, o cálculo do percentual de gordura corporal (%GC) é comumente utilizado para identificar e quantificar o excesso de gordura (HO-PHAM et al., 2015; MACIAS et al., 2014; RAMÍREZ-VÉLEZ et al., 2017).

Existem diversas técnicas de CC disponíveis que fornecem informações e o cálculo do %GC. Alguns métodos são chamados de métodos laboratoriais, pois

normalmente estão disponíveis apenas em ambientes clínicos e de pesquisa. São de elevada acurácia, porém, dispendiosos e apresentam aplicação prática limitada, como a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA), pesagem hidrostática (PH) e pletismografia por deslocamento de ar (PDA). A antropometria por meio da medida de dobras cutâneas (DC), a análise de impedância bioelétrica (BIA), o ultrassom (US) modo-A e recentemente a visão computacional (VC) e inteligência artificial (IA), com o uso de foto bidimensional (2D) envolvem equipamentos mais simples, menos dispendiosos, de fácil transporte e com maior aplicação prática, sendo descritos como métodos de campo (HOLMES; RACETTE, 2021). Embora estudos tenham demonstrado que são geralmente menos precisos e carecem de exatidão, podem produzir erros de estimativa dentro de limites aceitáveis quando comparados com métodos mais precisos (GUEDES, 2013).

A DXA é considerada padrão de referência na avaliação da densidade mineral óssea (DMO). Entretanto, as melhorias tecnológicas proporcionaram o uso da DXA para novas aplicações, oferecendo a possibilidade de avaliar outros parâmetros corporais (MESSINA et al., 2020). Sendo assim, a DXA fornece uma avaliação relativamente rápida, precisa e não invasiva da MG, MLG e DMO do corpo todo e segmentado, considerada um método de referência de elevada acurácia em pesquisas clínicas (SHEPHERD et al., 2017). No entanto, é um equipamento de custo elevado e requer um técnico em radiologia para aquisição dos dados, o que é dificilmente viável na rotina da prática clínica (HOLMES; RACETTE, 2021; LEMOS; GALLAGHER, 2017). Dessa forma, estudos com instrumentos de CC mais acessíveis têm sido amplamente realizados a fim de avaliar a concordância do %GC com DXA como uma forma alternativa de análise da CC (ACHAMRAH et al., 2018; GOLJA et al., 2020; LEAHY et al., 2012; MAJMUDAR et al., 2022).

As DC e a BIA são métodos amplamente utilizados. Porém, podem apresentar baixa precisão e acurácia (DE SOUZA et al., 2014; KOGURE et al., 2020). As DC podem fornecer informações de GC semelhantes a DXA em adultos jovens e saudáveis (GOLJA et al., 2020) e em idosos (SILVEIRA et al., 2020), mas não em indivíduos com obesidade (BACCHI et al., 2017). Já a concordância entre BIA e DXA é variável, de acordo com o sexo (GOLJA et al.,

2020), GC (ACHAMRAH et al., 2018) e modelo do equipamento utilizado (GÁBA et al., 2015).

O US modo-A é um método menos utilizado comparado as DC e a BIA. Não é influenciado pelo estado de hidratação e requer menos treinamento técnico do que a medição das espessuras das DC (MUNTEAN et al., 2023). Entretanto, poucos estudos avaliaram a concordância do US modo-A e DXA. Com o avanço da tecnologia, a utilização da VC e IA permitiu a utilização de foto 2D para avaliar da CC. Resultados iniciais descreveram que a foto 2D forneceu uma estimativa precisa e não invasiva do %GC (NANA et al., 2022). Porém, mais estudos são necessários para a validar o uso da foto 2D na estimativa da GC.

Apesar da ampla diversidade e progresso de métodos para avaliar o %GC, comparar diferentes métodos de medição da GC permite verificar a validade e a precisão, bem como garantir que as medições sejam confiáveis e consistentes. Além disso, compreender a concordância entre esses métodos auxilia a determinar qual é o mais adequado para um propósito específico, considerando a precisão, a praticidade, o custo e a aplicabilidade em diferentes populações. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a concordância de DC, BIA, US modo-A e foto 2D disponíveis no mercado comparados a DXA para avaliação do %GC em indivíduos adultos. A hipótese do presente estudo é que métodos acessíveis de CC possam ser intercambiáveis com o DXA para estimar o %GC nessa população.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 COMPOSIÇÃO CORPORAL

O termo *composição corporal* refere-se à distribuição e quantidades dos componentes da massa total do corpo (HUME; ACKLAND, 2017). As informações sobre a CC humana foram baseadas em análise química de órgãos e por dissecação de cadáveres. Tais análises permitiram quantificar a gordura, água total, minerais e o conteúdo proteico corporal. A partir disso, foram obtidos dados de referência para o desenvolvimento de modelos de CC (WANG et al., 2002). O modelo de CC humana, proposto por Wang et al. (1992) é dividido em cinco níveis distintos: atômico, molecular, celular, tecidual e corpo inteiro (Figura 1). A soma dos componentes que integram cada nível é igual a massa corporal (WANG; PIERSON; HEYMS, 1992).

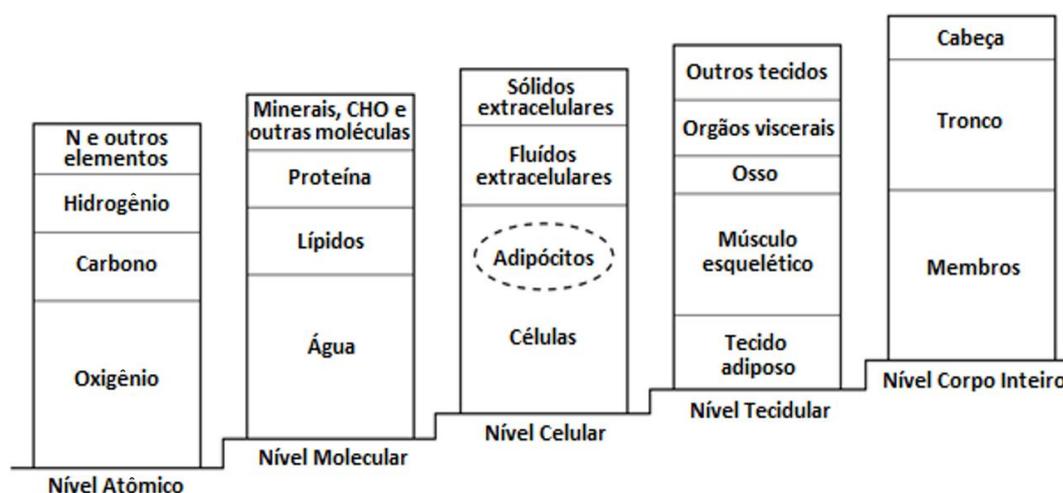


Figura 1. Modelo de análise da composição corporal em cinco níveis. Fonte: Traduzido e adaptado de Wang; Pierson e Heyms (1992).

No nível I, descrito como atômico, a massa corporal é constituída principalmente de seis elementos (oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio, cálcio e fósforo), os quais representam mais de 98% do peso corporal. O nível atômico é a base da análise corporal e é o ponto de partida para os cinco níveis propostos (WANG; PIERSON; HEYMS, 1992). Outros elementos importantes são potássio, enxofre, sódio, cloreto e magnésio, os quais em sua maioria podem ser avaliados por ativação de nêutrons. Os elementos medidos podem dividir a

massa corporal, como MG e MLG. O nível II (molecular) consiste em seis maiores componentes: água, lipídios, proteína, carboidratos, minerais ósseos e aqueles dos tecidos moles. Os modelos de avaliação nesse nível podem medir de dois a seis desses componentes. O nível III (celular) inclui três componentes: sólidos extracelulares, água extracelular e células. As células podem ser divididas em dois componentes, MG e massa celular corporal. Já no nível IV (tecidual) o corpo humano é dividido em cinco componentes (músculo esquelético, tecido adiposo, vísceras, ossos e órgãos sólidos únicos como cérebro, coração, fígado e baço. O nível V, descrito corpo inteiro, é o mais alto nível, considera o corpo como uma unidade com relação ao seu tamanho, forma, área e densidade. Pode ser dividido em regiões, como apêndices, tronco e cabeça. O tronco e os membros são usualmente descritos pelas medidas antropométricas, como perímetros e DC (ARAGON et al., 2017).

2.2 MODELOS DE COMPOSIÇÃO CORPORAL

Inicialmente, a CC foi descrita como bi compartimentada (2C), ou seja, dividida em dois grupos: MG e MLG, constituída por músculos, água intra e extracelular, órgãos e CMO. Além disso, outros métodos disponíveis para avaliação da CC são baseados em três compartimentos (3C), quatro compartimentos (4C) ou multicompartimentos (Figura 2) (KURIYAN, 2018).

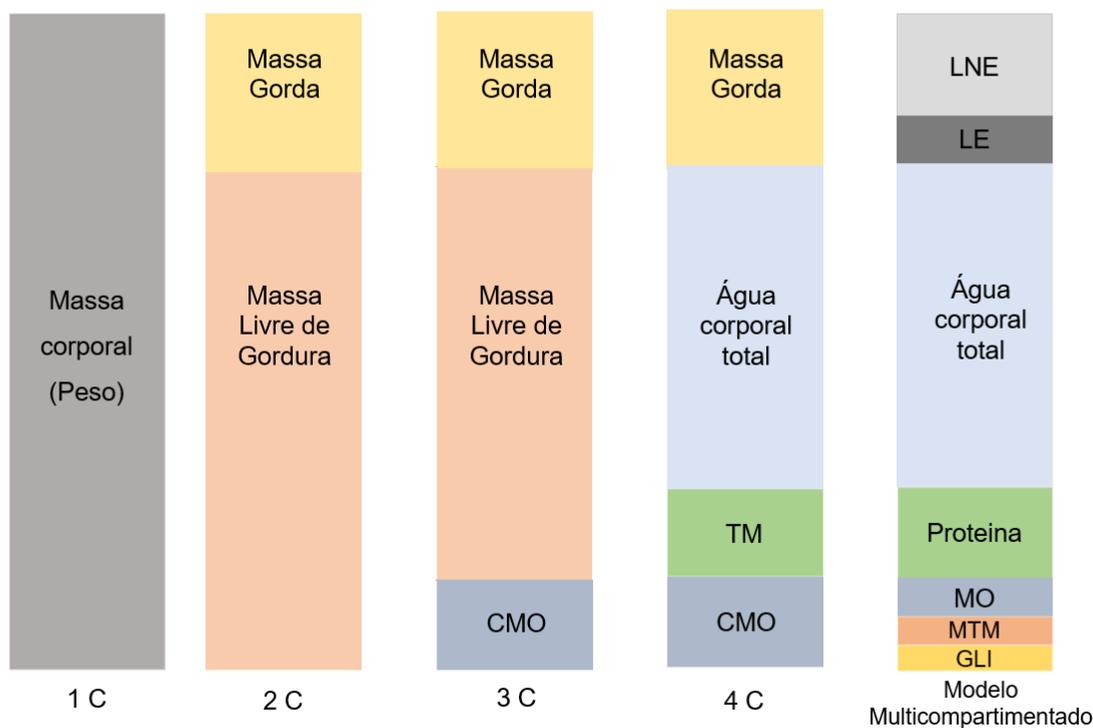


Figura 2. Diferentes tipos de modelos de composição corporal. 1C: um compartimento, 2C: dois compartimentos, 3C: três compartimentos, 4C: quatro compartimentos, CMO, conteúdo mineral ósseo, LNE: lipídio não essencial, LE: lipídio essencial, MO: mineral ósseo, MTM: mineral de tecidos moles, GLI, glicogênio; TM: tecido metabólico. Traduzido e adaptado de Kuriyan, 2018.

Modelo de dois compartimentos

A abordagem mais simples na CC é o modelo 2C, a qual divide o peso corporal em MG e MLG, tendo como princípio de que se um desses componentes for determinado, o outro pode ser estimado (KASPER et al., 2021). A MG anidra é definida como gordura extraível quimicamente com uma densidade de $0,9007 \text{ g/cm}^3$, enquanto a MLG é assumida com uma densidade de $1,1000 \text{ g/cm}^3$ e teor de água de 73,72% (BROŽEK et al., 1963). A maior parte do erro associado aos modelos de 2C não consiste na precisão técnica das medições, mas na validade dos pressupostos anteriormente delineados, que se baseiam em análises de apenas três cadáveres masculinos. DC, PH e PDA são alguns dos métodos comumente usados no modelo 2C e que se baseiam na medição da Dc total (KURIYAN, 2018).

Modelo de três compartimentos

O modelo 3C inclui um terceiro componente, no qual a MLG é dividida em tecido magro e CMO. Além disso, a MLG é dividida em água (ACT e os sólidos restantes) e em sólidos restantes (proteínas e minerais, massa seca isenta de gordura). Isso inclui medidas de Dc e ACT, assumindo uma relação mineral-proteína constante de 0,35. O modelo 3C, portanto, controla a variação interindividual na hidratação da MLG. Ao medir a CC em adultos saudáveis, o modelo 3C mostrou resultados satisfatórios em relação ao modelo 2C. Porém, é indicado ter cautela em pacientes com depleção de proteína corporal ou DMO, pois os valores estimados para densidade e, portanto, a estimativa final da MG corporal poderá não ser precisa. Com o avanço da tecnologia de CC, a DXA é um exemplo de método 3C, a qual fornece medições rápidas e não invasivas regionais, bem como da CC total pela transmissão de raios X de alta e baixa energia (KURIYAN, 2018).

Modelo de quatro compartimentos

O modelo 4C de CC é compreendido pela massa corporal em gordura, água, CMO e proteína (residual) (KURIYAN, 2018). Emergiu como um método de preferência para avaliações da CC, pois representa variações interindividuais nas características da MLG que os modelos mais simples assumem como constantes (KURIYAN, 2018; MOON et al., 2009; NICKERSON; TINSLEY, 2018; TINSLEY et al., 2019; WANG et al., 1999). Os modelos 4C tradicionais utilizam PH, DXA e óxido de deutério (D₂O) para a avaliação do volume corporal, CMO e ACT, respectivamente (NICKERSON et al., 2020). Os modelos 4C mais recentes utilizam espectroscopia de bioimpedância (BIS) como uma alternativa ao D₂O para estimar ACT (NICKERSON et al., 2017a, 2017b, 2018), o qual foi validado por Moon et al. (2009), reduziu o tempo e as despesas associadas à técnica de diluição tradicional. Apesar da acessibilidade do BIS, a necessidade de incorporar três técnicas em um modelo 4C muitas vezes limita seu uso. Portanto, os pesquisadores tentaram derivar um modelo 4C com apenas duas técnicas, a fim de simplificar seu uso nas avaliações da CC (NICKERSON et al., 2020).

Wilson, Fan e Shepherd (2013) e Smith-Ryan et al. (2017) desenvolveram uma equação de volume corporal derivada da DXA, a qual retirou a necessidade da PH nos cálculos tradicionais do modelo 4C (SMITH-RYAN et al., 2017; WILSON; FAN; SHEPHERD, 2013). Tais avanços permitiram que a DXA seja

utilizada para volume corporal e CMO; e BIS e ACT em um modelo 4C. No entanto, pesquisas que examinam modelos 4C utilizando volume corporal derivados de DXA são escassas. A equação de volume corporal derivada de DXA por Smith-Ryan et al. (2017) foi validada para uso em um modelo 4C em indivíduos com sobrepeso. Entretanto, foi descrito um erro significativo em uma coorte de adultos fisicamente ativos (BLUE et al., 2018; NICKERSON et al., 2017d).

Neste contexto, o método 4C é teoricamente mais válido que o modelo de 3C, pois controla a variabilidade biológica mineral óssea e ACT. Entretanto, é em sua maioria limitado a ambientes clínicos e grandes estudos, devido ao tempo, custo, equipamentos necessários para as múltiplas medidas e deve ser usado principalmente para a validação de métodos de CC e para derivar equações preditivas (KURIYAN, 2018).

Modelo de vários compartimentos

É uma abordagem mais detalhada e complexa para avaliar a CC e requer a análise direta dos principais elementos do corpo. A análise de ativação de nêutrons (AAN) pode ser usada para medir o conteúdo corporal total de elementos (cálcio, sódio, cloreto, fósforo, nitrogênio, hidrogênio, oxigênio e carbono). O modelo 6C divide o corpo em água, nitrogênio, cálcio, potássio, sódio e cloreto. Embora os modelos multicompartimentais forneçam medidas precisas ou acuradas da CC para validação de outros métodos, a falta de instalações adequadas, o alto gasto e a exposição à radiação limitam seu uso regular (KURIYAN, 2018).

2.3 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DE COMPOSIÇÃO CORPORAL

2.3.1 Métodos diretos

Os métodos de determinação de CC podem ser classificados como diretos, indiretos e duplamente indiretos (Figura 3) (MARTIN; DRINKWATER, 1991). O único método verdadeiramente direto é a dissecação, entretanto apresenta utilidade limitada. Alguns estudos foram conduzidos em cadáveres

para investigar a CC (Tabela 1) (CLARYS; MARFELL-JONES, 1986; FORBES; COOPER; MITCHELL, 1953; JANSSENS et al., 1994; MARTIN; DRINKWATER; CLARYS, 1984; MITCHELL et al., 1945; MOORE et al., 1968; WIDDOWSON; MCCANCE; SPRAY, 1951). Dentre estes, uma das principais avaliações diretas de CC foi a partir do Estudo da Análise de Cadáver de Bruxelas (*Cadaver Analysis Study – CAS*), no qual mais de trinta cadáveres foram avaliados entre 1979 e 1983. O CAS permitiu o exame de várias condições de uso das medidas das DC e da pesagem hidrostática. Com base nesse estudo foi descrito que as medidas antropométricas e a CC de cadáveres são similares de pessoas vivas (CLARYS et al., 1987; MARTIN et al., 1985).

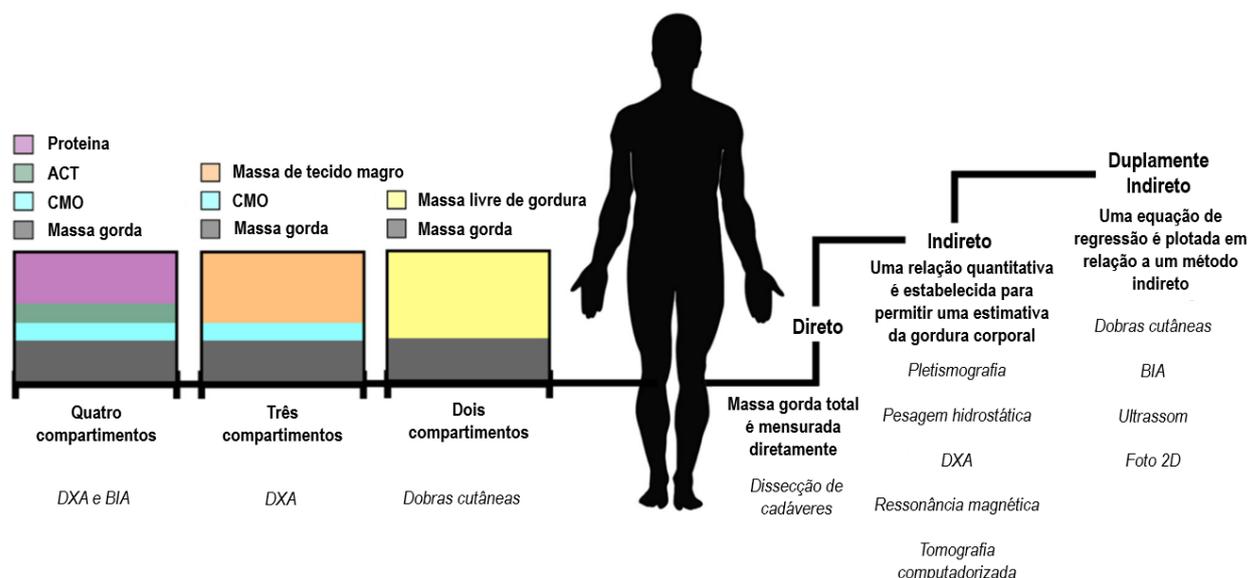


Figura 3. Os modelos de 2C, 3C e 4C da composição corporal (lado esquerdo) e os métodos de determinação (lado direito). Fonte: Traduzido e adaptado de (Kasper et al., 2021).

Tabela 1. Estudos conduzidos em cadáveres para investigar a composição corporal.

Autores	Ano	n	Método	Local de estudo
Mitchell et al.	1945	1	Químico	EUA
Widdowson, Mccancer e Spray	1951	3	Químico	EUA
Forbes, Cooper e Mitchell	1953-1956	3	Químico	EUA
Moore et al.	1968	1	Químico	EUA

Martin, Drinkwater e Clarys	1984	25	Anatômico	Bruxelas
Clarys e Marfell-Jones	1986	3	Anatômico	Bruxelas
Janssens et al.	1994	6	Anatômico	Bruxelas

EUA: Estados Unidos da América.

2.3.2 Métodos indiretos

Os métodos indiretos são baseados em suposições quantitativas de cada componente corporal (MARTIN; DRINKWATER, 1991). Dentre os métodos, destaca-se a PH, PDA, DXA, tomografia computadorizada e ressonância magnética, que são capazes de quantificar componentes do corpo com elevada acurácia e são utilizados principalmente para validar as técnicas duplamente indiretas (DUREN et al., 2008; MARTIN; DRINKWATER, 1991). Apesar da alta confiabilidade, necessitam de profissionais especializados para operar os equipamentos, tempo considerável para a realização do procedimento e custo elevado (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018).

Historicamente, a PH era a técnica de avaliação padrão-ouro, porém o equipamento, espaço, experiência e tempo necessários, combinados com a dificuldade de realização da técnica para os participantes, tornavam este método impraticável na maioria dos ambientes que não eram de pesquisa (HOLMES; RACETTE, 2021). Neste contexto, devido às vantagens da DXA em termos de precisão, simplicidade e custo relativamente baixo em comparação a procedimentos como ressonância magnética e tomografia computadorizada, o uso da DXA está se tornando uma referência cada vez mais importante. Além disso, tem uma vantagem notável de fornecer uma avaliação segmentada e que inclui o CMO e BMO (MARRA et al., 2019). Essa precisão e versatilidade tornam a DXA uma das principais escolhas para estudos e intervenções relacionadas à saúde (MESSINA et al., 2020).

2.3.2.1 Absorciometria de raios X de dupla energia

A DXA consiste em medir a absorção tecidual de feixes de raios X de alta e baixa energia que passam pelo indivíduo deitado em decúbito dorsal no leito de varredura (Figura 4). O instrumento utiliza a atenuação, ou enfraquecimento, desses feixes de raios X para fornecer estimativas precisas do CMO e da composição dos tecidos moles. Essa atenuação dos feixes de raios X é

mensurável e depende fortemente da espessura, densidade e composição química do tecido subjacente. Para determinar a quantidade de gordura e tecido mole sem gordura no corpo, a DXA mede a proporção de atenuação das duas energias de fótons em locais anatômicos que não contêm nenhum osso (normalmente o tecido mole puro adjacente ao osso). Quando não há osso presente, a relação entre a atenuação das duas energias de fótons está linearmente relacionada à proporção de gordura no tecido mole. Após a atenuação do feixe de raios X ter sido analisada em regiões com tecidos moles e ósseos, bem como em regiões apenas com tecidos moles, a MG, a massa de tecido magro e a massa mineral óssea podem ser discriminadas (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018; TOOMBS et al., 2012).

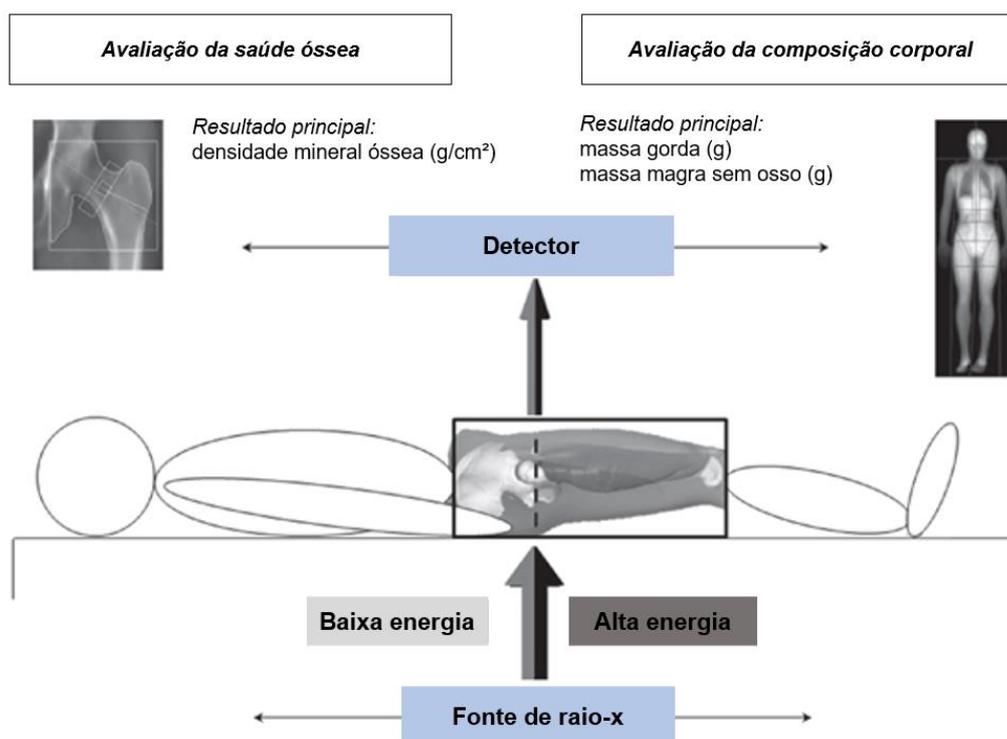


Figura 4. Princípio fundamental da absorciometria de raios X de dupla energia (DXA). A DXA mede a transmissão de raios X por meio do corpo em altas e baixas energias. A energia do feixe de raios X é atenuada com a passagem pelo tecido. A abordagem da composição corporal DXA assume que os seres humanos consistem em três componentes que são distinguíveis pelas suas propriedades de atenuação de raios X: mineral ósseo, tecido adiposo e tecido mole magro. Fonte: Traduzido de Toombs et al. 2012.

A DXA além de quantificar CMO e DMO, permite a medição da MLG e MG regional e total e calcula outros valores derivados que podem ser exibidos para

o usuário, como a GC total e regional. Assim, é um método que reduz suposições em que se baseiam os métodos DC, PDA e PH (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018). Além disso, a avaliação por DXA é prática, não requer envolvimento ativo do sujeito e impõe risco mínimo (Figura 5). A exposição à radiação de uma varredura DXA de corpo inteiro é equivalente de 1 a 10% de uma radiografia de tórax. Entretanto, é necessário um profissional habilitado para realizar a avaliação (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018; MARRA et al., 2019).

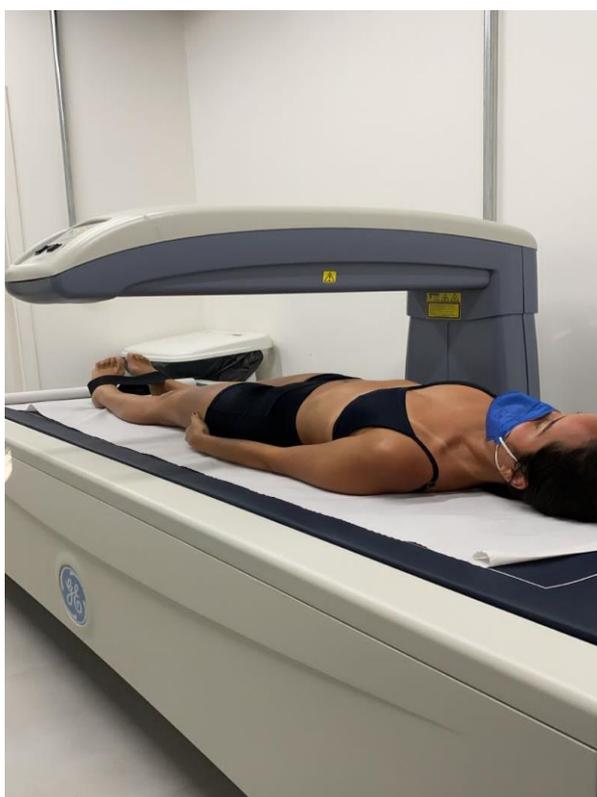


Figura 5. Avaliação por absorciometria de raios X de dupla energia. Fonte: Imagem do autor.

Além da DXA ser indicada para mensuração do CMO, que permite o diagnóstico e o acompanhamento da osteoporose, é sugerido que o seu uso seja estendido para acompanhar pacientes com sobrepeso/obesidade. A DXA mede o excesso de adiposidade e é considerada como um método de alta acurácia. Embora promissor, ainda não é recomendado seu uso rotineiro para o diagnóstico de obesidade, pois há poucas orientações claras sobre sua indicação clínica para avaliação da CC em pacientes fora do cenário da pesquisa (MARRA et al., 2019).

O DXA possui vantagens na avaliação da CC em indivíduos grandes, uma vez que desafios para digitalização foram contornados e que o comprimento, a largura e a capacidade de carga nominal podem ser excedidas. Para uma avaliação mais completa da CC, é preferível escanear todo o corpo. (SHEPHERD et al., 2017). Sendo assim, em vez de aumentar a largura e a altura do tampo da mesa, o que tornaria o equipamento mais dispendioso para o mercado de osteoporose primária, foram desenvolvidas técnicas inteligentes de varredura vertical e horizontal, juntamente com análises correspondentes, para combinar varreduras parciais e obter uma varredura completa do corpo. Para participantes muito largos, o indivíduo deve ser deslocado horizontalmente de modo que, em uma varredura, todo o corpo pudesse ser estimado, mesmo que um dos braços, pernas ou ambos não tenham sido escaneados. Este método de varredura é chamado de varredura offset em geral, modo de reflexão em sistemas Hologic e modo de espelho em sistemas GE (SHEPHERD et al., 2017). Além disso, os equipamentos de última geração GE Lunar iDXA e Hologic Horizon permitem uma única varredura de corpo inteiro para a avaliação da CC com imagem comparável de alta resolução (semelhante à qualidade da radiografia) e insignificante ampliação da imagem, o que significa alta exatidão e precisão dos dados. Ambas as técnicas garantem baixa dose de radiação aos pacientes e tempo de avaliação rápido (BAZZOCCHI et al., 2016).

As medições pela DXA não estão isentas de erros ou variabilidade, os quais podem ser classificados em duas categorias: i) erros técnicos gerados pelos erros intrínsecos de precisão da máquina ou pelo posicionamento incorreto do sujeito na mesa de digitalização ou pela imprecisão do pós-processamento da imagem e ii) variações biológicas, que incluem alterações no estado de hidratação dos tecidos decorrentes do efeitos do exercício, os possíveis efeitos da ingestão de alimentos e/ou líquidos e as mudanças de longo prazo na CC provocada por mudanças na dieta ou exercícios (BAZZOCCHI et al., 2016). O conhecimento das causas potenciais e da magnitude dos erros técnicos e das condições biológicas nas medições é essencial para o desenvolvimento de protocolos padronizados de aquisição, bem como para pós-processamento correto da imagem. Em acréscimo, a seleção adequada de indivíduos que podem ser submetidos ao exame DXA é fundamental (BAZZOCCHI et al., 2016).

A gravidez é uma contraindicação à avaliação da CC por DXA pela *International Society for Clinical Densitometry*, pois não há justificativa suficiente para a exposição à radiação durante a gravidez. Embora a dose efetiva de radiação da DXA seja extremamente baixa e os riscos fetais decorrentes das doses de radiação <50mGy serem insignificantes, é improvável que a CC medida por DXA forneça um diagnóstico e ou informações durante a gravidez. Em acréscimo, limitações no uso da DXA para CC total ou DMO incluem: peso acima do limite da tabela, administração recente de material de contraste e/ou artefato. Os agentes radio farmacêuticos podem interferir na precisão dos resultados usando sistemas de alguns fabricantes de DXA (KENDLER et al., 2013).

2.3.3 Métodos duplamente indiretos

Os métodos duplamente indiretos são baseados em medidas antropométricas, que incluem perímetros corporais e DC, e a análise de BIA, os quais usam equações de estimativa derivadas de um dos métodos indiretos, sendo comumente utilizado a densitometria (MARTIN; DRINKWATER, 1991). São avaliações práticas e de baixo custo para avaliação a CC (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018).

2.3.3.1 Antropometria

As medidas antropométricas são medidas quantitativas não invasivas e fornecem uma avaliação do estado nutricional, as quais podem auxiliar na avaliação do estado de saúde, informações sobre estoque de gordura e músculo, monitoramento de intervenções nutricionais e risco de doenças futuras. Por serem relativamente simples de medir, de baixo custo e não exigirem alto nível de habilidade técnica, as medidas antropométricas são amplamente utilizadas em situações clínicas e grandes estudos epidemiológicos (CASADEI; KIEL, 2022; KURIYAN, 2018). As principais medidas da antropometria são estatura, peso, perímetros corporais para avaliar a adiposidade (cintura, quadril e membros) e DC (CASADEI; KIEL, 2021).

Peso, estatura e IMC: O peso é a soma de todos os compartimentos corporais, entretanto é uma medida que não discrimina a CC. Uma variedade de balanças está disponível para medição de peso, e estes devem ser calibrados

regularmente para avaliações precisas. Alterações no peso corresponde a mudanças na água corporal, gordura e/ou tecido magro (DUREN et al., 2008). Além disso, pode ter alterações com a idade em adultos à medida que acumulam gordura. No entanto, peso corporal avaliado sem outras medidas de tamanho corporal é incompleta, pois está altamente relacionado à estatura. A estatura é importante para avaliar o crescimento, além de estimar diversas dimensões corporais. Pode ser medida facilmente obtida com uma variedade de equipamentos de parede, de forma direta (DUREN et al., 2008). A partir dos valores de peso e estatura, pode-se estimar o IMC, um índice antropométrico, o qual é calculado dividindo-se o peso (em kg) pelo quadrado da estatura (em metros).

O IMC é um índice simples e barato, comumente usados para classificar baixo peso, sobrepeso e obesidade em adultos, além de ser amplamente utilizado em estudos populacionais (KURIYAN, 2018). A classificação da OMS é comumente utilizada para categorizar o IMC, classificada em: baixo peso ($<18,5$ kg/m²), eutrófico (18,5 - 24,9 kg/m²), sobrepeso (25 - 29,9 kg/m²), obesidade grau I (30 – 34,9 kg/m²), obesidade grau II (35 – 39,9 kg/m²) e obesidade grau III (>40 kg/m²) (WHO, 1998). Adicionalmente, Renquist (1997) e as *Guidelines for Reporting Results in Bariatric Surgery* (1997) descreveram a classificação de obesidade até o grau V, como obesidade mórbida ou classificação IV (≥ 50 kg/m²) e super obesidade ou classificação V (≥ 60 kg/m²), respectivamente.

As faixas de IMC são baseadas no efeito que a GC excessiva tem sobre a doença e a mortalidade, as quais estão bem relacionadas à adiposidade. O IMC foi desenvolvido como um marcador de risco de doença; à medida que o índice aumenta, também aumenta o risco de algumas doenças. Algumas condições comuns relacionadas ao sobrepeso e à obesidade incluem: morte prematura, doenças cardiovasculares, hipertensão arterial sistêmica, osteoartrite, alguns tipos de câncer e diabetes mellitus (WHO, 2010). Entretanto, o IMC possui falhas para avaliações individuais, pois desconsidera fatores importantes para a CC como distribuição de GC, massa muscular ou estrutura óssea, possuindo baixa sensibilidade e especificidade. O índice não reflete necessariamente as mudanças que ocorrem com a idade. A proporção de GC aumenta com a idade, enquanto a massa muscular diminui, mas as mudanças correspondentes na estatura, peso e IMC podem não refletir mudanças na GC e

na massa muscular. Dessa forma, não há relação direta do valor do IMC e a CC, uma vez que não é linear e difere para homens e mulheres (ROTHMAN, 2008). Por causa das limitações do IMC, é sugerido o uso de outras medidas simples para avaliar a adiposidade, como o perímetro da cintura (PC) ou a relação cintura-estatura (FLEGAL et al., 2009).

Índice de massa gorda (IMG) e Índice de Massa Livre de Gordura (IMLG): VanItallie et al. (1990) propuseram o IMG que é calculado dividindo-se a MG (em kg) pelo quadrado da estatura (em metros) e o IMLG que é calculado dividindo-se a MLG (em kg) pelo quadrado da estatura (em metros), respectivamente (KYLE et al., 2003). Esses índices de GC calculados eliminam as diferenças do %GC associado à estatura, podem avaliar independentemente a GC a partir de alterações na MLG e, portanto, podem ser medidas úteis na obesidade (KYLE et al., 2003). O IMG foi sugerido como uma ferramenta de triagem na predição da presença de síndrome metabólica melhor do que o IMC e o %GC em homens e mulheres (LIU et al., 2013).

Perímetro da cintura: O PC é usado em crianças e adultos como indicador de gordura intra-abdominal. O PC é aferido com fita não elástica com aproximação de 0,1 cm, em posição ortostática durante expiração expiratória final no ponto médio da caixa torácica inferior e crista ilíaca (WHO, 1995). Os valores indicativos de risco cardiovascular e metabólico baseados na PC, são considerados elevados quando atingem ≥ 102 cm em homens e ≥ 88 cm em mulheres (WHO, 1998).

Relação cintura-estatura: A relação cintura-estatura é utilizada como um índice antropométrico simples na previsão de fatores de risco cardiovasculares e condições de saúde relacionadas, bem como gordura visceral. É indicado que o PC não deve ultrapassar a metade da estatura (HO; LAM; JANUS, 2003).

Relação cintura-quadril: A relação cintura-quadril (RCQ) é usada como uma medida substituta da distribuição de GC inferior e superior, a qual mede onde a GC é armazenada. O excesso de gordura na parte superior do corpo ou perfil androide (formato de maçã) é tipicamente característico em homens, enquanto excesso de gordura na parte inferior do corpo ou perfil ginoide (formato de pera) em mulheres. Uma alta RCQ sugere risco aumentado de problemas de saúde relacionados à obesidade e risco cardiometabólico. A precisão da RCQ na avaliação da gordura visceral diminui com o aumento dos níveis de gordura. A

RCQ é calculada pela divisão do PC pelo perímetro do quadril e os indicadores de risco são $\geq 1,0$ para homens e $\geq 0,85$ para mulheres (WHO, 1998).

Perímetro da Panturrilha: é considerada a medida mais sensível da massa muscular em idosos. Indica as mudanças na MLG que ocorrem com o envelhecimento e com a diminuição da atividade física. Quando seu valor é inferior a 31 cm indica redução de massa muscular (WHO, 1995).

Dobras cutâneas (DC): é um método de baixo custo para estimar o %GC, o qual mede a espessura das DC em diferentes locais do corpo com um plicômetro ou adipômetro. Este método baseia-se no princípio de que a quantidade de gordura subcutânea é proporcional à quantidade de GC total. A mensuração das DC envolve a compressão de uma dupla camada de pele e o tecido adiposo subcutâneo para longe do músculo subjacente e, em seguida, coloca um plicômetro sobre o local da dobra padronizado. O plicômetro sensível à pressão se ajusta à espessura da DC e fornece uma medida em milímetros (mm) (Figura 6) (HOLMES; RACETTE, 2021).



Figura 6. Exemplo de dobra cutânea bicipital. Fonte: Imagem do autor.

Os locais anatômicos específicos das DC (tríceps, bíceps, tórax, axilar, subescapular, abdominal, crista ilíaca, coxa) e o número de locais variam dependendo de qual equação é usada para estimar a Dc e o %GC (HOLMES;

RACETTE, 2021). As equações comuns de Dc são específicas para sexo e idade; podem incluir duas (SLOAN, 1967), três (GUEDES, 1985; JACKSON; POLLOCK; WARD, 1980; JACKSON; POLLOCK, 1978; PETROSKI, 1995), quatro (DURNIN; WOMERSLEY, 1974) ou sete locais de dobras (JACKSON; POLLOCK; WARD, 1980; JACKSON; POLLOCK, 1978). Para conversão da Dc em %GC, utiliza-se a equação de Siri (1961): $\%GC = [(4,95/Dc) - 4,5] \times 100$ (SIRI, 1961) ou Brozek (1963): $[4,570/Dc - 4,142] \times 100$ (BROŽEK et al., 1963). A Tabela 2 apresenta alguns exemplos equações da estimativa da Dc disponíveis e a respectiva equação de conversão do %GC para mulheres e homens. Outras equações para avaliar diretamente o %GC, incluem idade, perímetros e IMC para ambos os sexos ou de acordo com o sexo (DEURENBERG; WESTSTRATE; SEIDELL, 1991; GALLAGHER et al., 2000; LEAN; HAN; DEURENBERG, 1996) (Tabela 3).

Tabela 2. Exemplos e características de equações preditivas para cálculo de densidade corporal.

Equações de estimativa de densidade corporal para mulheres								
Referência (ano)	N	Pontos anatômicos avaliados	Características da Amostra/País	Método de validação	Equação preditiva de densidade corporal	Equação de %GC adotada	R	
Jackson, Pollock e Ward (1980)	331	Tórax, axilar, tríceps, subescapular, abdominal, crista-íliaca, coxa média	Mulheres, 18 a 55 anos, EUA	PH	Sete dobras		Siri (1961)	
					Σ 7DC = DCTX, DCA, DCT, DCSE, DCAB, DCCI, DCC			0,852
					Eq1: $Dc = 1,0970 - 0,00046971(\Sigma 7DC) + 0,00000056 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00012828$ (idade)			0,850
					Eq2: $Dc = 1,23173 - 0,03841$ (log Σ 7DC) - 0,00015 (idade)			0,865
					Eq3: $Dc = 1,1470 - 0,00042359 (\Sigma 7DC) + 0,00000061 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00065200$ (PQ)			0,864
					Eq4: $Dc = 1,25475 - 0,03100 (\Sigma 7DC) - 0,00068$ (PQ)			0,867
					Eq5: $Dc = 1,1470 - 0,00042930 (\Sigma 7DC) + 0,00000065 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00009975$ (idade) - 0,00062415 (PQ)			0,867
					Eq6: $Dc = 1,25186 - 0,03048$ (log Σ 7DC) - 0,00011 (idade) - 0,00064 (PQ)			
		Tríceps, abdominal, crista-íliaca, coxa média			Quatro dobras		Siri (1961)	0,849
					Eq7: $Dc = 1,0960950 - 0,0006952 (\Sigma 4DC) + 0,0000011 (\Sigma 4DC)^2 - 0,0000714$ (idade)			
					Eq8: $Dc = 1,21993 - 0,03936$ (log Σ 4DC) - 0,00011 (idade)			0,845

	<i>Eq9:</i> $Dc = 1,1443913 - 0,00066523 (\Sigma 4DC) + 0,0000014 (\Sigma 4DC)^2 - 0,0006053 (PG)$	0,861
	<i>Eq10:</i> $Dc = 1,24374 - 0,03162 (\log \Sigma 4DC) - 0,00066 (PG)$	0,859
	<i>Eq11:</i> $Dc = 1,1454464 - 0,0006558 (\Sigma 4DC) - 0,0000015 (\Sigma 4DC)^2 - 0,0000604 (idade) - 0,0005981 (PG)$	0,862
	<i>Eq12:</i> $Dc = 1,241721 - 0,031069 (\log \Sigma 4DC) - 0,000077 (idade) - 0,000635 (PG)$	0,861
Tríceps, crista ilíaca e coxa	Três dobras $\Sigma 3DC: DCT, DCCI, DCC$	Siri (1961)
	<i>EQ13:</i> $Dc = 1,0994921 - 0,0009929 (\Sigma 3DC) + 0,0000023 (\Sigma 3 DC)^2 - 0,0001392 (idade)$	0,842
	<i>EQ14:</i> $Dc = 1,21389 - 0,04057 (\log \Sigma 3DC) - 0,00016 (idade)$	0,838
	<i>EQ15:</i> $Dc = 1,1466399 - 0,0009300 (\Sigma 3DC) + 0,0000028 (\Sigma 3 DC)^2 - 0,0006171 (PQ)$	0,851
	<i>EQ16:</i> $Dc = 1,23824 - 0,03248 (\log \Sigma 3DC) - 0,00067 (PQ)$	0,849
	<i>Eq17:</i> $Dc = 1,1470292 - 0,0009376 (\Sigma 3DC) + 0,0000030 (\Sigma 3DC)^2 - 0,0001156 (idade) - 0,0005839 (PQ)$	0,854
	<i>Eq18:</i> $Dc = 1,23530 - 0,03192 (\log \Sigma 3DC) - 0,00013 (idade) - 0,00062 (PQ)$	0,853

Jackson e Pollock (1985)	685	Eq1: Tríceps, axilar, torácica, subescapular, abdominal crista-íliaca, coxa média	Mulheres eutróficas, 18-61 anos, EUA	PH	Sete dobras Σ 7DC: DCT, DCA, DCTX, DCSE, DCCI, DCC	Siri (1961)	
					Eq1: $Dc = 1,0970 - 0,00046971 (\Sigma 7DC) + 0,00000056 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00012828 (\text{idade em anos})$		0,85
		Eq2: Tríceps, coxa média, crista-íliaca			Eq2: $Dc = 1,099421 - 0,0009929 (DCT + DCC + DCCI) + 0,0000023 (DCT + DCC + DCCI)^2 - 0,0001392 (\text{idade})$		0,84
		Eq3: Tríceps, abdominal, crista-íliaca			Eq3: $Dc = 1,089733 - 0,0009245 (DCT + DCAB + DCCI) + 0,0000025 (DCT + DCAB + DCCI)^2 - 0,0000979 (\text{idade})$		0,83
Petroski (1995)	281	Eq13: Subescapular, crista-íliaca e coxa	Mulheres, 18-51 anos, Sul/Brasil	PH	Três dobras Σ 3DC: DCSE, DCCI e DCC	Siri (1961)	0,862
					Eq13: $D = 1,04127059 - 0,00087756 (\Sigma 3DC) + 0,00000380 (\Sigma 3DC)^2 - 0,00025821 (\text{idade}) - 0,00059076 (\text{peso}) + 0,00051050 (\text{estatura})$		
		EqF9: Tríceps, subescapular, crista-íliaca e panturrilha			Quatro dobras Σ 4DC: DCSE, DCT, DCCI, DCPA		
					EqF9: $Dc = 1,02902361 - 0,00067159 (\Sigma 4DC) + 0,00000242 (\Sigma 4DC)^2 - 0,00026073 (\text{idade}) - 0,00056009 (\text{peso}) + 0,00054649 (\text{estatura})$		0,848
Guedes (1985)	96	Subescapular, crista-íliaca e coxa	Mulheres, 17-29 anos, Brasil	PH	Três dobras Σ 3DC: DCSE, DCCI, DCC	Siri (1961)	0,853
					Eq4.11: $Dc = 1,1665 - 0,07063 \log_{10} (\Sigma 3DC)$		
Wilmore e Behnke (1970)	128	Tríceps, subescapular e coxa	Mulheres universitárias, 17-48 anos, Califórnia, EUA	PH	Três dobras Dc = $1,06234 - 0,00068 (DCSE) - 0,00039 (DCT) - 0,00025 (DCC)$	Siri (1961)	0,676

Nagamine e Suzuki (1964)	112	Tríceps e subescapular	Mulheres japonesas, 18-23 anos	PH	Dc = 1,0897 - 0.00133 (DCT +DCSE)	Siri (1961)	0,703
Katch e McArdle (1973)	69	Subescapular, Crista-ílica, Perímetro de coxa, Diâmetro umeral	Mulheres universitários, 20 anos, EUA	PH	Dc = 1,09246 - 0,00049 (DCSE) - 0.00075 (DCCI) + 0,00710 (DU) -0,00121 (PCx)	Duas boas Brozek (1963)	0,84
Slogan, Burt e Blyth (1962)	50	Tríceps, Crista-ílica	Mulheres universitárias, 17-25 anos, EUA	PH	Dc = 1,0764 - 0.00081(DCCI) - 0.00088(DCT)	Duas boas Brozek (1963) e Siri (1961)	0,74
Durnin e Womersley (1974)	272			PH	Uma boa Dc = 1,1278 – 0,0775 log ₁₀ (Σ 1DC)	Siri (1961)	0,7 - 0,9
		Tríceps	16 - 68 anos, Escócia				
	272	Tríceps e subescapular	16-68 anos	PH	Duas boas Dc = 1,1507 – 0,0785 log ₁₀ (Σ 2DC)		
	29	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ílica	16-19 anos	PH	Quatro boas Somatório (Σ 4DC) = DCT + DCB + DCCI + DCSE Dc = 1,1549 – 0,0678 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	100	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ílica	20-29 anos	PH	Dc = 1,1599 – 0,0717 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	58	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ílica	30-39 anos	PH	Dc = 1,1423 – 0,0632 log ₁₀ (Σ 4DC)		

48	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ilíaca	40-49	PH	$Dc = 1,333 - 0,0612 \log_{10} (\Sigma 4DC)$
37	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ilíaca	50+ anos	PH	$Dc = 1,1339 - 0,0645 \log_{10} (\Sigma 4DC)$
272	Tríceps, Subescapular, Bíceps, Crista ilíaca	16-68 anos	PH	$Dc = 1,1567 - 0,0717 \log_{10} (\Sigma 4DC)$

Tran e Weltman (1989)	482	Perímetros: Cintura, abdominal, Quadril, Estatura	Mulheres, 15-79 anos, brancas ("usual para idosas"), EUA	PH	$Dc = 1.168297 - (0.002824 \times PA) + (00000122098 \times PA^2) -$ $(0.000733128 \times PQ) + (0.000510477 \times \text{estatura}) -$ $(0.000216161 \times \text{idade})$	Siri (1961)	0,889
Weltman et al. (1988)	110	Perímetro abdominal, peso e estatura	Mulheres com obesidade, 20-60 anos	PH	$Dc = -0.00020 (\text{média PA}) - 0.00032 (\text{peso em kg}) +$ $0.00039 (\text{estatura em cm}) + 0.97783$	Brozek (1963)	0,76

Equações de estimativa de densidade corporal para homens

Referência (ano)	N	Pontos avaliados	Características da Amostra/País	Método de validação	Equação	%GC	R
Jackson e Pollock (1978)	403	Tórax, axilar, tríceps, subescapular, abdominal, crista- ilíaca, coxa média	Homens, 18 - 61 anos, EUA	PH	Sete Dobras $\Sigma 7DC = DCTX, DCA, DCT, DCS, DCAB, DCCI, DCC$	Siri (1961)	
					$EQ1: Dc = 1,11200000 - 0,00043499 (\Sigma 7DC) +$ $0,00000055 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00028826 (\text{idade})$		0,902
					$EQ2: Dc = 1,10100000 - 0,00041150 (\Sigma 7DC) +$ $0,00000069 (\Sigma 7DC)^2 - 0,00022631 (\text{idade}) - 0,0059239$ $(PC) + 0,0190632 (PAB)$		0,916

					EQ3: $D_c = 1,21394 - 0,03101 (\log \Sigma 7DC) - 0,00029$ (idade)	0,893
					EQ4: $D_c = 1,17615 - 0,02394 (\log \Sigma 7DC) - 0,00029$ (idade) - 0,0070 (CC) + 0,02120 (PAB)	0,917
		Torácica, Coxa média, abdominal			Três Dobras $\Sigma 3DC: DCTX, DCC, DCAB$ EQ5: $D_c = 1,1093800 - 0,0008267 (\Sigma 3DC) + 0,0000016$ ($\Sigma 3DC$) ² - 0,0002574 (Idade)	0,905
					EQ6: $D_c = 1,0990750 - 0,0008209 (\Sigma 3DC) +$ 0,0000026 ($\Sigma 3DC$) ² - 0,0002017 (Idade) - 0,005675 (PC) + 0,018586 (PAB)	0,918
					EQ7: $D_c = 1,18860 - 0,03049 (\log (\Sigma 3DC) - 0,00027$ (Idade)	0,888
					EQ8: $D_c = 1,15737 - 0,02288 (\log \Sigma 3DC) - 0,00019$ (idade) - 0,0075 (PC) + 0,0223 (PAB)	0,915
Durnin and Rahaman (1967)	191	Bíceps, tríceps, subescapular e crista- ilíaca	Homens eutróficos, 14 - 22 anos, Escócia	PH	Quatro dobras $D_c = 1.1610 - 0.0632 \log (DCB+ DCT+ DCSE + DCCI)$	Siri (1961) 0,835
Guedes (1995)	110	Tríceps, abdominal e crista-ilíaca	Homens universitários, 17 - 27 anos, Brasil	PH	Três dobras $\Sigma 3DC: DCT, DCAB, DCCI$ Eq4.3: $D_c = 1,17136 - 0,06706 \log_{10} (\Sigma 3DC)$	Siri (1961) 0,894
Petroski (1995)	391	Tríceps, subescapular e crista-ilíaca	Homens, 18-66 anos, Brasil	PH	Três dobras $\Sigma 3DC: DCT, DCSE, DCCI$ EqM11: $D_c = 1,10491700 - 0,00099061 (\Sigma 3DC) +$ 0,00000327 ($\Sigma 3DC$) ² - 0,00034527 (idade)	Siri (1961) 0,871
		Tríceps, Subescapular, Crista ilíaca e panturrilha			Quatro dobras $\Sigma 4DC: DCSE, DCT, DCCI, DCPA$ EqM7: $D_c = 1,10726863 - 0,00081201 (\Sigma 4DC) +$ 0,00000212 ($\Sigma 4DC$) ² - 0,00041761 (idade)	0,875

Katch e McArdle (1973)	53	Tríceps, subescapular, abdominal, perímetro do antebraço	Homens com idade universitária, EUA	PH	Três dobras Dc = 1.10986 - 0.00083 (DCT) - 0.00087 (DCSE) - 0.00098 (DCAB) + 0.00210 (PAB)	Brozek (1963)	0,89
(Wilmore; Behnke, 1969)	133	Abdominal e coxa	Homens com idade universitária, EUA	PH	Dois dobras Dc = 1.08543 - 0.00886 (DCAB) - 0.00040 (DCC)	Brozek (1963)	0,800
		Crista-íliaca, abdominal, coxa e panturrilha			Quatro dobras Dc = 1.06671 + 0.0098 (altura) - 0.00027 (DCCI) - 0.00071 (DCAB) - 0.00040 (DCC) + 0.00074 (DCPA)		0,811
Sloan (1967)	50	Subescapular e coxa média	Homens jovens, 18-26 anos, EUA	PH	Dois dobras Dc = 1.1043 - 0.001327 (DCC) - 0.001310 (DCSE)	Brozek (1963)	0,861
Durnin e Womersley (1974)	209	Tríceps	17-72 anos, Escócia	PH	Uma dobra Dc = 1,1143 – 0,0618 log ₁₀ (DCT)	Siri (1961)	0,7-0,9
	209	Tríceps e subescapular	17-72 anos	PH	Dois dobras Dc = 1,1625 – 0,0797 log ₁₀ (DCT + DCSE)		
	24	Tríceps, subescapular, bíceps e crista-íliaca	17-19 anos	PH	Quatro dobras Somatório (Σ 4DC) = DCT + DCB + DCCI + DCSE Dc = 1,1620 – 0,0630 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	92	Tríceps, subescapular, bíceps e crista-íliaca	20-29 anos	PH	Dc = 1,1631 – 0,0632 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	34	Tríceps, subescapular, bíceps e crista-íliaca	30-39 anos	PH	Dc = 1,1422 – 0,0544 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	35	Tríceps, subescapular, bíceps e crista-íliaca	40-49 anos	PH	Dc = 1,1620 – 0,0700 log ₁₀ (Σ 4DC)		
	24	Tríceps, subescapular, bíceps e crista-íliaca	50-72 anos	PH	Dc = 1,1765 – 0,0744 log ₁₀ (Σ 4DC)		

Weltman, Seip e Tran (1987)	127	Perímetro abdominal	Homens com obesidade	PH	$Dc = -0.00040421(\text{média PA}) + 1.063$	Brozek (1963)	0,50
Nagamine e Suzuki (1964)	96	Tríceps e subescapular	18-27 anos, Japão	PH	$Dc = 1.0913 - 0.00116 (DCT + DCSE)$	Brozek (1963)	0,747

DC: dobra cutânea, Dc: densidade corporal, DCA: dobra cutânea axilar, DCAB: dobra cutânea abdominal, DCB: dobra cutânea bicipital, DCC: dobra cutânea da coxa, DCCI: dobra cutânea crista- ilíaca, DCPA: dobra cutânea panturrilha, DCSE: dobra cutânea subescapular, DCT: dobra cutânea tricípital, DCTX: dobra cutânea torácica, Eq: equação, PAB: perímetro antebraço, PA: perímetro abdominal, PC: perímetro da cintura, PG: perímetro do glúteo; PH: pesagem hidrostática, PQ: perímetro do quadril.

Tabela 3. Equações preditivas para cálculo de percentual de gordura corporal.

Autor (ano)	N	Variáveis avaliadas	Características da Amostra/País	Método de validação	Equação de estimativa do percentual de gordura corporal	R
Deurenberg et al. (1990)	226	IMC, sexo e idade	Homens e mulheres adultos (16-83 anos), Holanda	PH	$\%GC = (1,2 \times IMC) - (10,8 \times \text{sexo}) + (0,23 \times \text{idade}) - 5,4$	0,79
Lean et al. (1996)	147	CC	Homens e mulheres adultos (média de idade: 40 anos), Escócia	PH	Homens: $\%GC = (0,567 \times CC) + (0,101 \times \text{idade}) - 31,8$ Mulheres: $\%GC = 0,439 \times CC) + (0,221 \times \text{idade}) - 9,4$	0,839 0,868
Gallagher et al. (2000)	1626	Idade e IMC	Homens e mulheres adultos, brancos e afro-americanos	Modelo 4C (DXA, PH, deutério)	$\%GC = 64,5 - 848 \times (1/IMC) + (0,079 \times \text{idade}) - (16,4 \times 1) + (0,05 \times 1 \times \text{idade}) + (39 \times 1 \times (1/IMC))$	0,86

Sexo (homens = 1, mulheres = 0). %GC: percentual de gordura corporal, 4C: 4 compartimentos, CC: circunferência da cintura, DXA: absorciometria de raios X de dupla energia, IMC: Índice de massa corporal, PH: pesagem hidrostática.

Para a mensuração das DC é importante que os pontos anatômicos de referência sejam marcados com precisão, pois as medições feitas a 1 cm longe do local real, provavelmente serão significativamente diferentes do valor real, o que pode invalidar a avaliação. Assim, os resultados obtidos podem variar devido ao nível de habilidade do avaliador, sendo de difícil comparação entre avaliadores (HUME; MARFELL-JONES, 2008).

Neste contexto, pontos anatômicos e técnicas de medição foram definidas para minimizar o erro de medição das DC. Um exemplo de tais definições podem ser encontradas nos Padrões Internacionais para Avaliação Antropométrica (MARFELL-JONES et al., 2006), que estabelecem normas aprovadas pela da *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (ISAK). Para cada um dos oito locais de DC que o padrão ISAK define, o local de medição é previamente marcado de acordo com distâncias específicas de um ponto anatômico identificável para que medidas duplicadas possam ser realizadas no mesmo local. É importante que seja sempre o mesmo avaliador para repetir as medidas (HUME; MARFELL-JONES, 2008).

Embora bastante popular, é um método influenciado pela habilidade do avaliador, pela calibração do plicômetro utilizado, por fatores individuais, pela equação de predição usada, pelo grau de hidratação e espessura da pele, podendo apresentar uma baixa reprodutibilidade e um elevado grau de variabilidade interexaminador (KASPER et al., 2021).

2.3.3.2 Análise por Impedância Bioelétrica

O analisador da BIA é portátil, seguro, fácil de usar, custo relativamente baixo, tornando-se assim uma ferramenta útil para grandes estudos (KURIYAN, 2018). A análise por BIA mede a resistência (R) e a reatância (X_c), ou a impedância (Z) e o ângulo de fase, a qual envolve uma corrente elétrica de baixo nível que passa pelo corpo de um indivíduo enquanto a impedância, ou oposição ao fluxo da corrente, é medida (HOLMES; RACETTE, 2021). A corrente elétrica é imperceptível e não causa nenhum desconforto ao sujeito (HAMILTON-JAMES et al., 2021).

A impedância inclui a R, a força que um condutor biológico se opõe a uma corrente alternada atribuível a fluidos intracelulares e extracelulares, e a X_c , proveniente das membranas celulares e que representa o componente

capacitivo da impedância. Isso permite que os fluidos e sua distribuição sejam determinados. A partir das propriedades únicas de impedância de cada tecido, várias equações de regressão foram implementadas para dados de CC (CAMPA et al., 2021).

Nos organismos vivos, a condução elétrica está relacionada com a distribuição de água e eletrólitos no condutor biológico (LUKASKI, 1987). O princípio da BIA é que o tecido magro compreende aproximadamente 73% de água, sendo um bom condutor elétrico, enquanto a MG tem hidratação extremamente baixa com base em sua composição química. Dessa forma, o fator de hidratação de 73% é usado para prever a MLG a partir do ACT (HOLMES; RACETTE, 2021; LUKASKI, 1987).

Indivíduos com alta proporção de MLG (baixo %GC) com hidratação adequada, por meio de água intracelular e extracelular apresentam menor R e maiores medidas de Xc em comparação àqueles com alto %GC. A soma da fórmula da impedância ($\sqrt{Z=R^2+Xc^2}$) da resistência e reatância medida de um indivíduo fornece valores de impedância. Como a BIA é extremamente sensível à ACT, devem ser tomadas medidas consistentes em estados semelhantes de hidratação para reduzir o erro (por exemplo, realizar o exame em jejum, ao acordar pela manhã e esvaziar a bexiga), bem como, atividade física, estado nutricional, ciclo menstrual e colocação de eletrodos. Os dispositivos BIA quantificam a impedância, a partir da qual podem estimar a água intracelular, água extracelular, ACT, MLG, MG e %GC (HOLMES; RACETTE, 2021; KURIYAN, 2018).

Os dispositivos de BIA geralmente exigem a entrada de informações como sexo, idade, estatura e peso (variáveis preditoras) para permitir a estimativa do percentual gordura por meio de equações proprietárias e específicas para cada dispositivo (ROCKAMANN et al., 2017). As equações de predição permitem calcular a MLG e, por dedução, a MG a partir de R, Xc, Z e ângulo de fase medidos e dados antropométricos (peso corporal, estatura e sexo) (HAMILTON-JAMES et al., 2021). Além disso, os analisadores podem medir valores de R e Xc diferentes, ou por conta de características específicas de sua construção ou por empregarem modelos eletrofisiológicos distintos, os quais geralmente não são divulgados pelos fabricantes, o que é um ponto negativo. Dessa forma, para as avaliações clínicas de BIA recomenda-se uma pesquisa detalhada sobre

como são feitos os cálculos, quais modelos eletrofisiológicos e de regressão foram adotados e não se pode desconsiderar uma avaliação da validade da regressão à subpopulação que será submetida a avaliação (SILVA; CARVALHO; FREITAS, 2018).

Os dispositivos de BIA podem variar quanto a tecnologia (mão-mão, pé-pé, mão-pé ou total e segmentar) (Figura 7) e frequência utilizada (frequência única ou multifrequência). Mão-mão mede a impedância da parte superior do corpo, enquanto estima o resto do corpo por meio de algoritmos. Por outro lado, pé-pé mede a impedância da parte inferior do corpo, enquanto estima o resto. Em contraste, a segmentar mede a impedância de segmentos corporais ou membros separados e a mão-pé consiste em avaliar o corpo total. Cada BIA pode dispor de quatro ou oito eletrodos. Porém, a colocação de cada eletrodo pode afetar a saída de dados brutos, e possivelmente mostrar diferenças entre operadores (CAMPA et al., 2021).

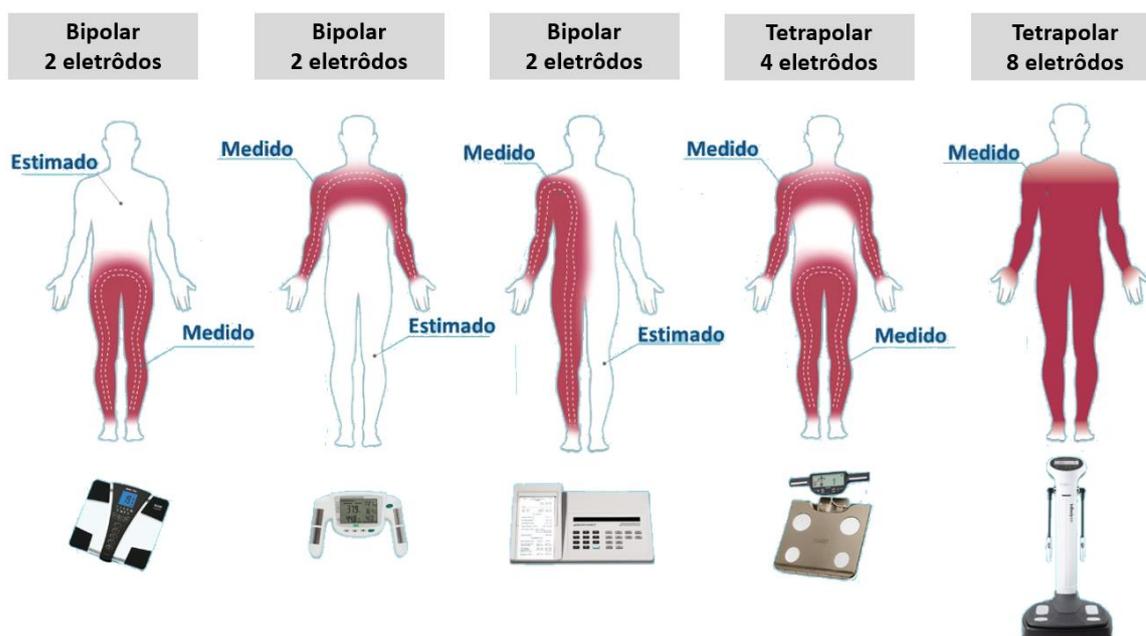


Figura 7. Exemplos de dispositivos análise de impedância bioelétrica. Fonte: Imagem do autor.

Como mencionado, o dispositivo de BIA pode ser de frequência única, quando opera na frequência de 50 kHz ou multifrequência, quando é utilizada uma ampla faixa de frequências, para maior penetração de diferentes tecidos e, portanto, podem ter maior precisão (ABASI et al., 2022; HOLMES; RACETTE,

2021). Vários dispositivos possuem frequências de amostragem que variam de 5 kHz a 500 kHz, embora alguns modelos possam chegar a 1000 kHz (Figura 8). Baixa frequência (5 kHz) fornece informações apenas sobre a água extracelular, uma vez que a membrana celular não pode ser penetrada. Ao contrário, em alta frequência, a corrente pode fluir por meio dos compartimentos extra e intracelular. No entanto, a baixa reprodutibilidade foi observada em frequências abaixo de 5 kHz e acima de 200 kHz. Até o momento, a tecnologia tetrapolar em frequência única de 50 kHz é considerada o método de referência para BIA em humanos (CAMPA et al., 2021).

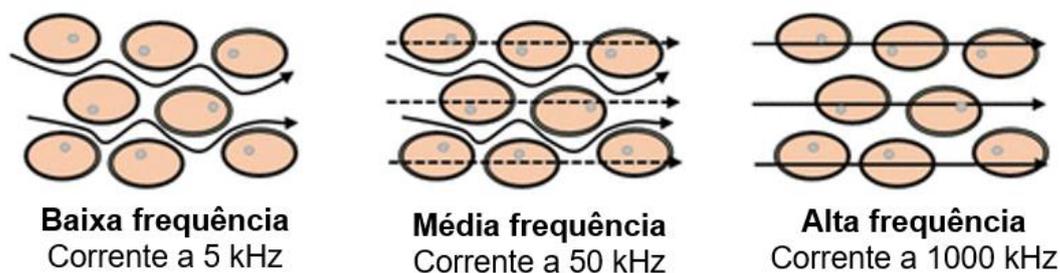


Figura 8. O percurso da corrente por meio das células depende da frequência aplicada. Em baixas frequências, a corrente percorre ao redor das células no espaço intracelular. Nas frequências médias, a corrente continua a passar pelas células, mas começa a atuar no espaço dentro da membrana celular. Em altas frequências, a corrente afeta inteiramente o espaço dentro das células. Fonte: Traduzido e adaptado de Abasi et al. (2022).

As recomendações para os procedimentos de medição usando a BIA podem variar entre os fabricantes e modelos e incluem:

- Dispositivo: a frequência, a amperagem, impedância ou R ou Xc ou ângulo de fase) devem ser relatados;
- Eletrodos: deve ser informado o tipo e tamanho dos eletrodos fornecidos pelo fabricante;
- Calibração: deve ser utilizado um módulo de verificação eletrônica com tolerância de $\pm 1\%$ para avaliar a precisão do dispositivo;
- Antropometria: a massa corporal e a estatura devem ser relatadas com precisão de $\pm 0,1$ kg e $\pm 0,5$ cm, respectivamente;
- Ambiente: a medição deve ocorrer em uma temperatura externa variando de $22,3$ °C a $27,7$ °C;

- Tempo de medição: a avaliação transversal entre os sujeitos deve ser realizada no mesmo período para cada indivíduo. Os ritmos circadianos devem ser levados em consideração; assim, medições longitudinais dentro do indivíduo devem ser realizadas no mesmo horário do dia;
- Ciclo menstrual: a fase do ciclo menstrual deve ser especificada (CAMPA et al., 2021).

Além das limitações mencionadas anteriormente, a precisão dos dispositivos também é afetada pela equação de regressão usada em questão. Como muitos fabricantes utilizam suas próprias equações derivadas durante o teste de validade interna do produto, muitas dessas equações são gerais, com pouca especificidade para populações variadas. Assim, diferentes analisadores de impedância ou equações de previsão não conseguem medir a CC de forma idêntica. Dessa forma, todos esses parâmetros independentes devem ser padronizados, para que procedimentos válidos e confiáveis possam ser utilizados (HOLMES; RACETTE, 2021; WARD, 2019).

2.3.3.3 Ultrassom

O uso do US para medir espessuras de gordura e músculo em humanos foi descrito em meados da década de 1960 (BOOTH; GODDARD; PATON, 1966; BULLEN et al., 1965). É uma modalidade de imagem para avaliação da CC de forma não invasiva, prática e portátil. Entretanto, essa tecnologia é menos utilizada do que os métodos mencionados anteriormente para avaliação da CC, sua utilidade e versatilidade como ferramenta para análise corporal ainda não é amplamente estabelecida (WAGNER, 2013).

O US opera em uma frequência >20 KHz e frequências >2 MHz são usadas para imagens ultrassônicas. Cristais piezoelétricos presentes no transdutor produzem pulsos de US. O feixe sonoro pulsado de alta frequência é transmitido por meio da pele, as imagens do corpo humano são obtidas a partir da reflexão ou do espalhamento de um feixe sonoro pulsado de alta frequência, que é enviado de um transdutor móvel para percorrer o corpo. Quando o feixe entra em contato com uma interface tecidual (por exemplo, gordura subcutânea-pele, músculo-gordura, músculo-osso), é parcialmente refletido de volta ao transdutor como um eco. Assim, o transdutor tem a dupla função de transmitir o ultrassom

e recebê-lo. Os ecos são convertidos em sinais para processamento pelo transdutor. A força de cada onda refletida é representada por um ponto, e a posição do ponto representa a profundidade da qual o eco foi recebido. Os pontos são combinados para formar uma imagem. Dessa forma, a imagem por US é formada a partir dos ecos produzidos pela interação da onda sonora na interface de dois tecidos que apresentam diferentes percentuais de reflexão de onda sonora (KASPER et al., 2021; WAGNER, 2013).

Os transdutores de US variam em relação ao modo e à frequência. Podem ser descritos como transdutor de modo-A (modo de amplitude), o qual depende de um feixe estreito para varrer a descontinuidade do tecido e produz um pico em um gráfico; ou modo-B (modulação de brilho), o qual a varredura usa uma matriz linear para produzir uma imagem bidimensional combinando sinais de modo A de várias direções. Quanto maior a frequência do US, maior a resolução, mas há uma diminuição na penetração (WAGNER, 2013).

Recentemente, o US modo-A da BodyMetrix BX-2000 (EUA; BodyMetrix, Intelametrix, Livermore, CA) tem sido amplamente utilizado para medir a CC. O equipamento possui uma sonda padrão de 2,5 MHz e tem como princípio uma técnica pulso-eco, na qual um pulso é aplicado na velocidade do som no tecido (WAGNER, 2013). Dispositivos de modo-A utilizam um único feixe, em um único plano, para determinar a reflexão acústica e a impedância de diferentes bordas do tecido. Maiores amplitudes de sinal/reflexões sonoras resultam nos limites do tecido: borda pele-gordura subcutânea, limite do tecido adiposo-músculo, bem como limite do tecido músculo-ósseo. A mudança na amplitude é resultado da velocidade do som, da impedância do tecido medido devido à densidade e da atenuação do feixe (DA SILVA, 2010).

O *software* proprietário (Body View, IntelaMetrix, Inc., Livermore, CA) cria um gráfico de medição com espessura ou profundidade do tecido no eixo horizontal e o sinal de US refletido no eixo vertical. O *software* assume que as reflexões acústicas das interfaces gordura-músculo e músculo-osso são 0,012 e 0,22, respectivamente. A GC total será calculada a partir das medições de US de locais padronizados, como os locais de DC descritos por Jackson e Pollock (1985), criando assim um método fácil de usar para estimar o %GC total a partir do US. Além disso, digitalizações de imagens podem ser obtidas, se a espessura

do tecido for de maior interesse do que uma estimativa do %GC (WAGNER, 2013).

As fontes de erro de espessura, especialmente para gordura, incluem erros na velocidade do som ($\pm 3,5\%$; $<1\%$ para o mesmo local e pessoa); compressão de gordura ($\sim 3\%$); e erros em eletrônica ($<0,2\%$). Além disso, o tecido adiposo-músculo pode potencialmente resultar em erros maiores (DA SILVA, 2010).

O procedimento para a varredura de US modo-A é simples. O bastão de US se conecta a um laptop por meio de um cabo USB. O gel é colocado na cabeça do transdutor e/ou na pele no local a ser medido, o que facilita a movimentação do transdutor sobre a pele. Com o US ligado, o transdutor é deslizado pelo local de medição sem perda de contato com a pele (Figura 9). A quantidade de movimento depende da finalidade do teste; para um único local comparável a uma DC, o movimento é de apenas ± 5 mm, mas uma região inteira (por exemplo, coxa) pode ser escaneada se esse for o objetivo. Uma varredura leva apenas alguns segundos. Uma vez digitalizada, a imagem no monitor pode ser salva para análise (WAGNER, 2013).



Figura 9. Análise da dobra cutânea tricipital por ultrassom modo-A. Fonte: Imagem do autor.

O US apresenta como vantagens menor custo do que outros métodos laboratoriais, compressão mínima do tecido, não invasivo, portátil, capaz de medições regionais e segmentais, alta exatidão e precisão nas mãos de técnico experiente. Como desvantagens: requer técnico experiente, habilidade

considerável é necessária, os procedimentos e técnicas de medição ainda não estão padronizados. Embora o exame seja um procedimento simples, a interpretação é mais difícil e subjetiva. As interfaces (pele-gordura, gordura-músculo e músculo-osso) aparecem como faixas contínuas de luz brilhante. No entanto, faixas claras representando a fáscia podem ser interpretadas erroneamente como uma interface. O avaliador deve ser capaz de identificar interfaces, particularmente a interface músculo adiposo, e medir com precisão a camada de tecido de interesse. A medição da espessura do tecido é realizada com plicômetros eletrônicos. A identificação e colocação dos dois pontos do plicômetros que definem os limites do tecido a ser medido requer prática para melhorar a objetividade da medição (KASPER et al., 2021; WAGNER, 2013).

Atualmente, não existem diretrizes universalmente aceitas para medir o tecido adiposo subcutâneo com US (KASPER et al., 2021; WAGNER, 2013). A falta de procedimentos padronizados, a escassez de estudos de validação em outras populações de diferentes faixas etárias e étnico-raciais, uso de equações que foram desenvolvidas para o uso do plicômetro e os resultados altamente dependentes da habilidade do operador são limitações para o uso do US como técnica de CC. Dispositivos novos e fáceis de usar, como o US modo-A acompanhados de *software* projetado especificamente para análise da CC, podem ajudar a minimizar essas limitações, mas ainda não foram adequadamente validados, sendo necessários mais estudos de validade e confiabilidade (WAGNER, 2013).

Outro aspecto relevante é a utilização do US como uma alternativa às DC para medir a gordura subcutânea. Em um estudo de referência por Fanelli e Kuczmarski (1984) foi sugerido que o US era concordante às DC para prever a GC. Os autores mediram sete locais anatômicos (tríceps, bíceps, subescapular, cintura, crista ilíaca, coxa e panturrilha) em 124 homens de 18 a 30 anos. O %GC teve uma variação de 3,5 a 32,7%. A hidrodensitometria foi o método referência. Os coeficientes de correlação entre Dc e DC, bem como Dc e US, mostraram resultados semelhantes, com desempenho ligeiramente superior para as DC (FANELLI; KUCZMARSKI, 1984).

Buxade et al. (2018) compararam as medidas de tecido adiposo subcutâneo de DC e US modo-A. Foram avaliados 84 indivíduos, ambos sexos e medidas de tríceps, subescapular, bíceps, crista ilíaca, supraespinhal,

abdominal, coxa anterior e panturrilha medial. O coeficiente de correlação de concordância de Lin registrou baixos valores de concordância entre as DC e US modo-A (variação de -0,009 – 0,646). Os autores descreveram que todas as variáveis das DC foram maiores em comparação ao US (BUXADÉ et al., 2018). Entretanto, mais estudos são necessários para avaliar a confiabilidade de DC e US. Enquanto as DC fornecem uma medida indireta da espessura da gordura com uma camada dupla de pele e a dobra comprimida, os US oferecem uma medida direta da espessura da gordura não comprimida. Porém, deve-se notar também que o método dos US envolve a conversão da espessura do tecido adiposo subcutâneo não comprimido em uma porcentagem de GC usando equações de regressão, o que adiciona outro ponto de imprecisão (KASPER et al., 2021).

2.3.3.4 Visão computacional

O interesse pelo uso de IA, em especial aprendizado de máquina (*machine learning* - ML) e VC tem ganhado destaque na avaliação da CC, como forma de reduzir o erro humano e acelerar o tempo de análise (HIGGINS et al., 2021). O ML pode ser entendido como um sistema ou algoritmo capaz de aprender e aprimorar uma tarefa por meio do uso de dados inseridos. Já a IA pode se referir a um sistema que utiliza dados inseridos para guiar ou influenciar suas ações (WANG; TORRIANI, 2020). A partir disso, um novo método automatizado de VC, denominado *composição corporal visual*, usa fotografias 2D capturadas por meio de uma câmera de *smartphone* convencional para estimar a %GC total (DE SOUZA et al., 2020). Espera-se que a CC visual tenha uma maior precisão do que outros dispositivos de medição de gordura (MAJMUDAR et al., 2022).

Tal tecnologia visual permite a criação de sistemas que conseguem avaliar a CC por meio de sinais digitais obtidos por fotos (ALVES et al., 2023). Alves et al. (2023) desenvolveram e testaram uma metodologia que utiliza imagens digitais e algoritmos de aprendizado de máquina para estimar o %GC. O processo envolve na captura de quatro imagens de câmera 2D de um indivíduo, juntamente com dados antropométricos básicos, como idade, peso, altura e sexo. Tais informações são inseridas em um sistema que emprega técnicas de pré-processamento para extrair partes e medidas relevantes do corpo. A base do sistema é um conjunto de modelos especializados, treinados utilizando um

conjunto de dados de 912 amostras, que preveem o %GC com foco nas diferenças específicas do sexo. Ao propor uma nova abordagem para estimar o %GC com o uso de imagens digitais e aprendizado de máquina, tais estudos oferecem uma alternativa econômica e acessível aos métodos tradicionais (ALVES et al., 2023; MAJMUDAR et al., 2022). Dessa forma, dispositivos e aplicativos de análise de imagem digital 2D surgiram como técnicas relativamente rápidas e fáceis de usar para análise de CC a fim de estimar o volume corporal, tamanho e perímetros em vários locais anatômicos (MAJMUDAR et al., 2022).

O uso de foto para a avaliação da CC oferece uma opção de ampla praticidade, baixo custo, pouco invasivo, além de ser um método alternativo para a análise corporal em regiões onde a avaliação clínica é inacessível (TIAN et al., 2020). O volume corporal estimado a partir da análise de imagens 2D não requer equipamento especializado, além de um *smartphone* ou *tablet*, e pode ser preenchido pela maioria dos indivíduos com treinamento mínimo quando comparado a medidas alternativas, como DC e US (SULLIVAN et al., 2022). A nova tecnologia pode ser um método promissor de CC, considerando a popularidade em massa de dispositivos móveis, sem as limitações de tempo e custo das técnicas tradicionais (FEDEWA et al., 2021).

Tian et al. (2020) descreveram um algoritmo para prever o formato do corpo e a CC em tridimensional (3D) a partir da fotografia 2D convencional. O procedimento do estudo consistiu em dados de peso, estatura, foto frontal e posicionamento adequado da câmera. Foi determinado o melhor ajuste de uma projeção do modelo 3D à silhueta extraída da imagem 2D. As estimativas de CC foram deduzidas a partir de análise de componentes principais da forma 3D de melhor ajuste. Os autores descreveram que a silhueta frontal do corpo fornece informações substanciais sobre a CC de um indivíduo na ausência de outras visualizações ou informações adicionais de imagem, como profundidade. Além de ser um método que requer entradas de dados mínimas, as medidas de CC total e regional podem ser estimadas a partir de uma única fotografia frontal de um corpo humano (TIAN et al., 2020).

A avaliação corporal por foto é um método recente (Figura 10). Nana et al. (2022) descreveram que a estimativa de %GC por fotos 2D apresentaram maior concordância com o DXA comparado com a avaliação por BIA(NANA et al.,

2022). Fedewa et al. (2021) sugeriram que a estimativa de Dc por meio de sistema de 2D pode ser útil combinada com uma medida de ACT de algum modelo 3C (FEDEWA et al., 2021). MacDonald et al. (2017) sugeriram que algoritmos para estimar %GC por meio de fotos 2D podem ser refinadas, com a finalidade de uma opção viável de CC no futuro (MACDONALD et al., 2017). Dessa forma, mais estudos são recomendados a fim de validar o uso da fotografia como uma nova forma de avaliação corporal.

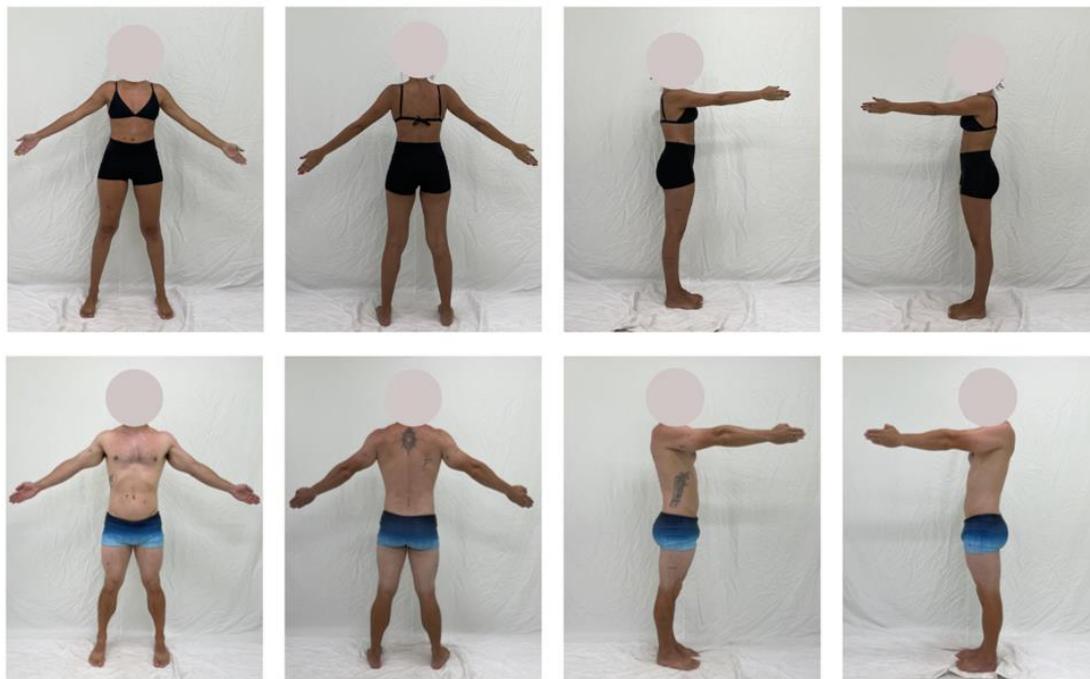


Figura 10. Exemplo vestimentas e posições para imagens realizadas por *smartphones*. Fonte: Imagem do autor.

2.3.3.5 Vantagens e desvantagens de alguns métodos de composição corporal

Os métodos de CC podem apresentar vantagens e desvantagens. A escolha de cada método irá depender dos objetivos, recursos disponíveis e contexto específico de avaliação dos componentes corporais. Dessa forma, conhecer as limitações de cada método ajuda a entender as possíveis fontes de erros e vies nos resultados, permitindo interpretações mais precisas (DUREN et al., 2008). A Tabela 4 apresenta informações de métodos comumente utilizados, com informações das medidas estimadas/avaliadas, tempo de avaliação, vantagens e desvantagens.

Tabela 4. Vantagens e desvantagens de alguns métodos de avaliação antropométrica e de composição corporal.

Métodos	Equipamento necessário	Medidas estimadas/avaliadas	Tempo de avaliação	Vantagens	Desvantagens
IMC	Estadiômetro e Balança	Peso e Estatura	≤3 min	Rápido, simples e barato	Não diferencia entre MG e MLG
Perímetros	Fita métrica flexível	Perímetros: braço, cintura, abdômen, quadril, coxa, panturrilha	≤5 min	Rápido, simples, portátil e barato	Não diferencia entre MG e MLG
DC	Plicômetro	MG e MLG, %GC	10– 20 min	É um método preciso quando realizado por um avaliador qualificado, barato e portátil	Conhecimento técnico necessário para minimizar a variabilidade intra e Inter observador; proximidade e contato necessário com a pele em várias regiões do corpo; a precisão é comprometida por desidratação, edema e perda de massa muscular
BIA	Instrumento BIA; estadiômetro; balança e eletrodos (para	MG, MLG e ACT	≤5 min	Quantifica a composição corporal regional (<i>alguns modelos</i>); fornece uma	A precisão varia entre os instrumentos; contraindicado em indivíduos com

<i>alguns instrumentos BIA)</i>				estimativa da água corporal; simples para avaliador e indivíduo sendo avaliado; acessível em casa (<i>alguns modelos</i>); relativamente barato (<i>os preços variam</i>)	dispositivos eletrônicos implantáveis devido a potencial interferência
Foto bidimensional	<i>Smartphone</i> com câmera e aplicativo de imagem digital	Volume corporal total e regional, %GC	1–2 min	Rápido, simples, portátil e barato Pode acomodar pessoas com obesidade extrema, adequado tanto para pesquisa quanto para aplicações clínicas	Pesquisas de validação limitadas; roupas justas devem ser usadas
US modo-A	Equipamento de US	Espessura de gordura subcutânea e músculo esquelético	≤5 min	Rápido e portátil	Requer técnico experiente, habilidade considerável é necessária; os procedimentos e técnicas de medição ainda não estão padronizados; interpretação

					difícil e subjetiva; <i>software</i> específico do fabricante
DXA	DXA	Gordura corporal MLG, CMO e DMO, regional e total	10 - 30 min	Quantifica MLG, CMO; alta confiabilidade; mínimo esforço necessário do participante, baixa exposição à radiação, em comparação a outros métodos de CC	Equipamento de alto custo; necessita de um técnico em radiologia; contraindicado durante a gravidez

%GC: percentual de gordura corporal; ACT: Água corporal total; BIA: Bioimpedância elétrica; CMO: Conteúdo mineral ósseo; DC: Dobras cutâneas; DMO: densidade mineral óssea; DXA: Absorciometria de raios X de dupla energia; IMC: Índice de massa corporal; MLG: Massa livre de gordura; MG: Massa gorda; US: Ultrassom. Fonte: Adaptado de Holmes e Racette (2021) e Wagner (2013).

2.4 CONCORDÂNCIA ENTRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL

2.4.1 Métodos estatísticos para avaliar concordância entre métodos

O aumento de novos instrumentos e métodos de medição levou à necessidade de métodos de verificação confiáveis. A validação de um novo método de medição para aplicação na prática clínica requer comparação com técnicas padrão-ouro ou de referência, a fim de medir e avaliar as diferenças, bem como a causa dessas diferenças (DOĞAN, 2018).

A validação de uma medição clínica deve incluir todos os procedimentos que comprovem que um método específico utilizado para a medição quantitativa da variável é confiável e reproduzível para a utilização pretendida. A medição de variáveis implica sempre algum grau de erro. Quando dois métodos são comparados, nenhum deles fornece uma medição evidentemente correta, por isso pode ser interessante tentar avaliar o grau de concordância. Para avaliar este grau de concordância, a abordagem estatística correta não é óbvia (GIAVARINA, 2015).

Estudos descrevem o coeficiente de correlação produto-momento ou ρ de Pearson (r) como um indicador de concordância entre os resultados de dois métodos de medição. Com a medição de correlação é realizada a análise de regressão linear, a qual poderá ser calculada se a correlação existir e o coeficiente de correlação só pode ser interpretado se o valor P for significativo. No entanto, P é significativo e a regressão pode ser calculada para a maioria dos casos de comparação de métodos. A regressão linear quantifica a qualidade do ajuste com r^2 , o coeficiente de determinação. A correlação descreve a relação linear entre dois conjuntos de dados, mas não as diferenças e consequentemente a concordância. Dessa forma, não é recomendada como método para avaliar a comparabilidade entre métodos (GIAVARINA, 2015).

Uma correlação elevada não implica automaticamente que existe uma boa concordância entre os dois métodos. O coeficiente de correlação e a técnica de regressão são por vezes inadequados e podem ser enganosos na avaliação da concordância, porque avaliam apenas a associação linear de dois conjuntos de observações. O r mede a força de uma relação entre duas variáveis, não a concordância entre elas. Da mesma forma, r^2 , denominado coeficiente de

determinação, apenas refere a proporção de variância que as duas variáveis têm em comum. Finalmente, o teste de significância pode mostrar que os dois métodos estão relacionados, mas é óbvio que dois métodos concebidos para medir a mesma variável estão relacionados. Além disso, o teste de significância pode ser enganador; a significância da correlação depende dos valores do coeficiente de correlação. Se o coeficiente de correlação for estatisticamente significativo em relação ao limite definido ($p < 0,05$) só assim pode-se interpretar o seu valor. Isto significa que se obter, por exemplo, $r = 0,22$ e $p = 0,027$ não se deve concluir que existe uma “relação significativa”, mas pode-se afirmar que não existe relação entre as variáveis, pois, o coeficiente de variação calculado, o qual indica a ausência de correlação, é estatisticamente significativa (GIAVARINA, 2015).

Na década de 1980, J. Martin Bland e Douglas G. Altman propuseram um método de apresentação em gráfico para avaliar a extensão da concordância dos valores determinados entre dois métodos. Atualmente, é uma das principais análises para esse tipo de avaliação (ZAKI et al., 2012). Bland e Altman introduziram os termos viés (*bias* - em inglês), definido como a média das diferenças entre dois métodos, e limites de concordância (LoA), definidos como o intervalo esperado para incluir 95% das diferenças futuras entre dois métodos. LoA é uma medida da quantidade de acordo entre métodos (HAGHAYEGH et al., 2020).

O gráfico de Bland-Altman resultante é um gráfico de dispersão XY, em que o eixo Y mostra a diferença entre as duas medidas emparelhadas (AB) e o eixo X representa a média dessas medidas $((A+B)/2)$ (Figura 11). Em outras palavras, a diferença das duas medidas emparelhadas é plotada em relação à média das duas medidas. Bland e Altman recomendaram que 95% dos pontos de dados estivessem dentro de $\pm 1,96s$ da diferença média. O gráfico também permite avaliar tendência negativa ou positiva. Traçar uma linha de regressão das diferenças poderia ajudar na detecção de uma diferença ou viés proporcional (GIAVARINA, 2015).

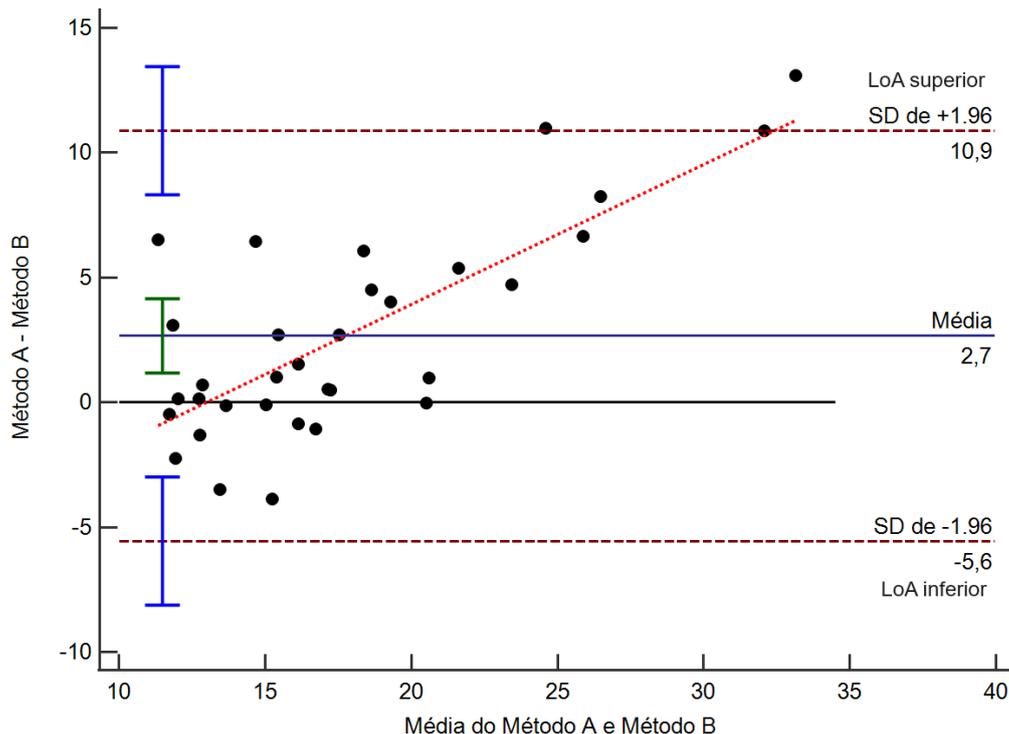


Figura 11. Exemplificação do gráfico de Bland-Altman. O gráfico representa a diferença entre dois métodos (eixo y) em relação à média de ambos os métodos (eixo x). As linhas tracejadas marrom representam os LoA superiores e inferiores $\pm 1,96$ desvio-padrão (DV) e a linha tracejada vermelha representa a linha de regressão ($y = -7,3031 + 0,5616x$). Fonte: Imagem do autor.

A forma comumente de representar graficamente o método BA é a diferenças entre das médias. Porém, as diferenças também podem ser expressas como porcentagens dos valores no eixo (ou seja, proporcionalmente à magnitude das medições [(método A – método B)/média %]). Esta opção é útil quando há um aumento na variabilidade das diferenças à medida que a magnitude da medição aumenta (GIAVARINA, 2015). A Figura 12 representa os mesmos dados que a Figura 11, plotado como porcentagem de diferenças.

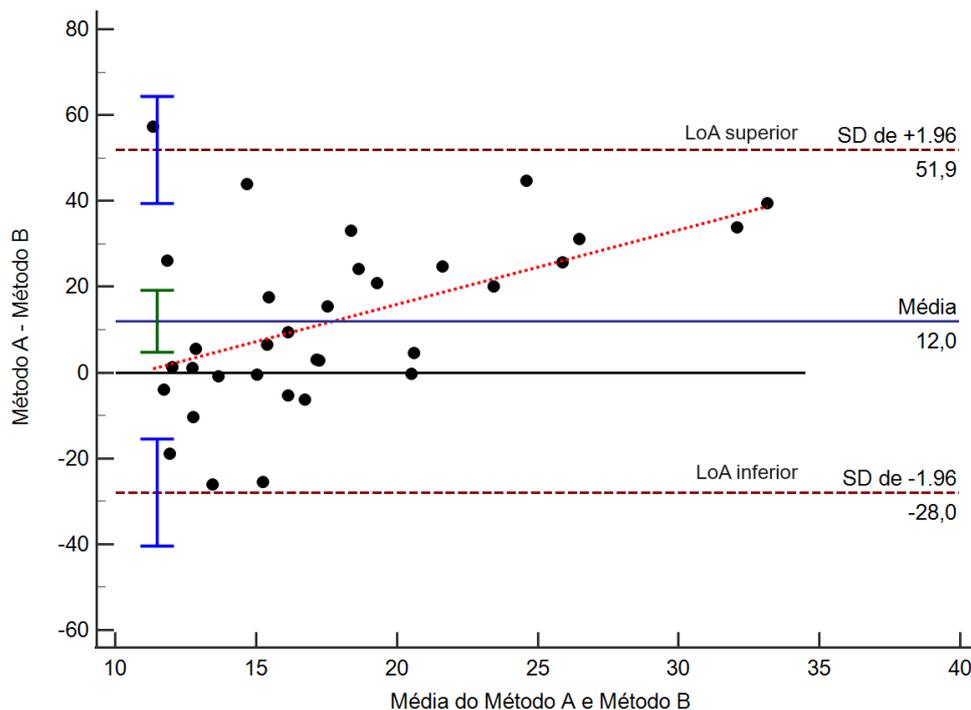


Figura 12. Exemplificação do gráfico de Bland-Altman em porcentagem. O gráfico representa a diferença em porcentagem entre dois métodos (eixo y) em relação à média de ambos os métodos (eixo x). As linhas tracejadas marrom representam os LoA superiores e inferiores $\pm 1,96$ desvio-padrão (DV) e a linha tracejada vermelha representa a linha de regressão ($y = -18,9408 + 1,7409x$). Fonte: Imagem do autor.

É recomendado que cada valor do eixo X seja a média dos dois métodos, em vez de dados brutos dos métodos individuais, pois na ausência de uma relação verdadeira, pode resultar em correlação positiva/negativa entre diferenças e magnitude das medidas (BLAND; ALTMAN, 1995). Em acréscimo, o gráfico inclui a linha de polarização e os limites de concordância. No entanto, o cálculo do gráfico de Bland-Altman depende dos pressupostos de normalidade e homoscedasticidade (variação constante) dos pontos de dados em torno da linha de polarização. Vários testes diferentes podem ser usados para avaliar a adesão a essas suposições, como o gráfico Q-Q ou testes de Shapiro-Wilk para verificar a suposição de normalidade e variância não constante ou teste de avaliação visual do gráfico residual para verificar a suposição de homoscedasticidade (HAGHAYEGH et al., 2020).

O coeficiente de correlação de concordância (CCC) de Lin (1989) é uma medida que testa quão bem os pares bivariados de observações se conformam

em relação a um padrão ouro ou outro conjunto (LIN, 1989). O CCC de Lin mede tanto a precisão quanto a exatidão. O resultado da análise pode variar de 0 a ± 1 , semelhante ao de Pearson. Altman sugeriu que deveria ser interpretado próximo a outros coeficientes de correlação como o de Pearson, com $<0,2$ como ruim e $>0,8$ como excelente (AKOGLU, 2018). Em contrapartida, McBride (2005) sugeriu outro conjunto para a interpretação, sendo: concordância fraca (CCC $<0,90$); concordância moderada (CCC = $0,90 - 0,95$); concordância substancial (CCC = $0,95-0,99$); concordância quase perfeita (CCC $>0,99$) (MCBRIDE, 2005).

Zaki et al. (2012) descreveram em uma revisão sobre os métodos estatísticos utilizados para avaliar a concordância de instrumentos médicos que medem a mesma variável contínua na literatura médica. O método Bland-Altman foi o mais popular utilizado para medir a concordância, seguido do coeficiente de correlação, comparação de médias e coeficiente de correlação intraclassa (ICC). Os autores descreveram a importância de conhecer e interpretar os resultados gerados de cada análise, pois conclusões enganosas de análises inadequadas comprometerão a qualidade da evidência, e conseqüentemente influenciará a qualidade dos cuidados prestados aos pacientes no futuro.

O teste t pareado é geralmente utilizado para testar as diferenças significativas entre as médias de dois conjuntos de dados, para avaliar a concordância. É interpretado que resultados não significativos significam que não há diferenças, portanto há um acordo entre os dois grupos e vice-versa. Entretanto, o teste t pareado com resultado não significativo não indica concordância. A razão para isso é que o valor da média é afetado pelo valor de cada dado, o que leva à influência indevida de valores extremamente grandes ou extremamente pequenos. É possível que a fraca concordância entre os dois instrumentos possa estar oculta na distribuição das diferenças e, assim, os dois métodos possam parecer concordar. Num estudo de concordância, não é de interesse a média das leituras de cada instrumento, mas sim em cada leitura individual. O que importa é que cada leitura do instrumento padrão seja repetida pelo novo instrumento. Além disso, a significância está relacionada ao poder do estudo (ZAKI et al., 2012).

O ICC foi inicialmente concebido para avaliar a confiabilidade. No entanto, foi usado para avaliar a concordância para evitar que o problema da relação

linear fosse confundido com concordância no coeficiente de correlação (r). Diferentes atribuições de medidas de X e Y no cálculo do coeficiente de correlação produziriam valores diferentes de r . Para superar algumas das limitações do coeficiente de correlação, o ICC calcula a média das correlações entre todas as ordenações possíveis dos pares. O ICC também se estende a mais de duas observações em contraste com o coeficiente de correlação. Várias estatísticas diferentes do ICC foram propostas e tem havido um debate considerável sobre qual estatística do ICC é apropriada para avaliar o acordo. O uso do ICC na avaliação da concordância também foi criticado por Bland e Altman. O ICC ignora a ordenação e trata ambos os métodos como uma amostra aleatória de uma população de métodos. Em um estudo de concordância, existem dois métodos específicos que serão comparados, e não dois instrumentos escolhidos aleatoriamente em alguma população. Outro problema do ICC é a sua sensibilidade à variedade de dados. Se a variância entre os sujeitos for alta, o valor do ICC certamente parecerá alto. Embora o uso do ICC pareça ser popular, a adequação deste método para avaliar a concordância também é duvidosa (ZAKI et al., 2012).

Medidas de acuracidade são estatísticas que permitem avaliar o ajuste de uma previsão aos dados originais, por meio do cálculo de médias das diferenças (erros) entre os dados originais e as previsões em cada período da série temporal. Tais medidas exigem o cálculo dos erros (resíduos) para todos os modelos sob análise, não demanda a construção de diagramas, e suas conclusões geralmente coincidem com as da avaliação do r^2 . Além disso, podem ser adaptadas posteriormente para comparar os resultados da recomposição pelos modelos aditivo e multiplicativo (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998).

Dentre as medidas de acuracidade disponíveis destacam-se Erro Absoluto Médio (EAM), Erro Quadrático Médio (EQM) e Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM):

- EAM: definido como a média das diferenças absolutas entre os valores previstos e os valores reais. É uma medida de erro que fornece uma representação média da magnitude dos erros entre a previsão e o valor real;

- EQM: calcula a média dos quadrados das diferenças entre as previsões de um modelo e os valores reais. No EQM, os desvios maiores acabam tendo peso maior, ocorrendo o contrário com desvios pequenos. É amplamente utilizado, sendo mais sensível a grandes erros devido ao cálculo dos quadrados das diferenças;
- EPAM: é uma métrica que calcula a média das diferenças percentuais absolutas entre as previsões de um modelo e os valores reais. É útil para avaliar a precisão percentual média do modelo em relação aos valores reais (HYNDMAN; KOEHLER, 2006).

Todas se baseiam nos cálculos dos erros. A segunda medida, EQM, semelhante ao desvio padrão, dá maior ênfase a grandes erros do que EAM. Pode-se usar todas, o que é fácil de implementar em uma planilha eletrônica, ou já faz parte dos programas estatísticos. O melhor modelo será o que apresentar os valores mais próximos de zero (MAKRIDAKIS; WHEELWRIGHT; HYNDMAN, 1998).

No âmbito da CC, a análise de concordância também tem sido amplamente utilizada para comparar métodos de referências, de alto custo, geralmente disponíveis em ambientes hospitalares e de pesquisa em comparação a métodos comumente utilizados, mais acessíveis e de baixo custo (ACHAMRAH et al., 2018; GOLJA et al., 2020; HURT et al., 2021; LAHAV; GOLDSTEIN; GEPNER, 2021; MAJMUDAR et al., 2022). Avaliar a concordância entre os métodos permite compreender os resultados de cada um, sendo crucial para garantir a precisão, a confiabilidade e a validade das medições realizadas e possibilita melhorar os instrumentos já existentes para resultados mais confiáveis e reprodutíveis.

2.4.2 Concordância entre métodos de composição corporal comparados ao DXA para estimar o percentual de gordura corporal

A GC é um dos principais componentes corporais mais estudado. A DXA tornou-se um método de referência em pesquisas clínicas por fornecer uma avaliação rápida, precisa e não invasiva da MG, MLG e CMO (SHEPHERD et al., 2017). No entanto, seu alto custo e disponibilidade limitada tornam esse método inviável em estudos populacionais (HOLMES; RACETTE, 2021). Neste

contexto, a concordância entre os diferentes métodos utilizados comparadas a DXA para estimar o %GC tem sido amplamente analisada na população em geral (ACHAMRAH et al., 2018), atletas (BENTZUR; KRAVITZ; LOCKNER, 2008; FERRI-MORALES et al., 2018) e em doenças (LAHAV; GOLDSTEIN; GEPNER, 2021; RAVINDRANATH et al., 2016). A Tabela 5 reúne alguns trabalhos realizados com objetivo de avaliar a concordância entre métodos de CC em comparação a DXA para estimar o %GC.

Tabela 5. Resumo de alguns estudos que avaliaram a concordância do %GC comparados a DXA.

Autor (ano) e país	Característica da amostra	N	Métodos avaliados	Bland-Altman		CCC
				Diferença média (viés)	Limites de concordância 95%	
Johnson et al. (2014)	Homens e mulheres universitários	84	US modo-A (BodyMetrix BX-2000) Equação: sete dobras de Jackson e Pollock (1978)	4,4	-5,1; 13,8	NA
Estados Unidos						
Ramírez-Vélez et al. (2017)	Homens e mulheres adultos com sobrepeso/obesidade	48	Seca mBCA 514	<ul style="list-style-type: none"> • Mulheres (sobrepeso): -0,07 • Mulheres (obesidade): -0,03 • Homens com sobrepeso: -2,0 • Homens com obesidade: -2,0 • Todos (sobrepeso): -0,7 • Todos (obesidade): -0,6 	-6,0; 6,0 -2,0; 2,0 -5,0; 2,0 -6,0; 3,0 -6,0; 4,0 -4,0; 3,0	NA
Colômbia						
Silveira et al. (2020)	Idosos brasileiros (homens e mulheres), idade ≥60 anos	132	Dc: Durnin e Womersley (1974) e Maltron BF906	<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -2,63 • Mulheres: -2,83 • Homens: -2,33 	-11,34; 8,08 -12,37; 6,72 -9,61; 4,94	0,861 0,726 0,846
Brasil						<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -3,51 • Mulheres: -3,53 • Homens: -9,50
Lahav; Goldstein; Gepner (2021)	Homens e mulheres, 18 a 80 anos e IMC: 18 - 56 kg/m ²	226	InBody-770 e SECA mBCA 515	<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -3,1 • Mulheres: -4,0 	-8,9; 2,6 -9,5; 1,5	0,922 0,847

Israel				<ul style="list-style-type: none"> • Homens: -2,3 	-7,8; 3,2	0,933
				SECA mBCA 515		
				<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -0,3 • Mulheres: -0,5 • Homens: -0,2 	-7,6; 7,1 -8,8; 7,8 -6,3; 6,2	0,940 0,870 0,947
Hurt et al. (2021)	Homens e mulheres, 18 a 65 anos	176	InBody-770	Todos: -0,9	-6,0; 4,2	0,97
Estados Unidos				IMC (kg/m ²)		
				18,5-24,9: -2,0	-7,5; 3,5	0,90
				25-29,9: -1,3	-7,0; 3,4	0,94
				30-34,9: -0,2	-4,7; 4,3	0,94
				>35: -0,1	-4,1; 3,9	0,92
Majmudar et al. (2022)	Homens e mulheres, 21 a 80 anos e peso <181kg	134	FitBit Aria2, Tanita BF-684W, Renpho ES-24M-W/B, InBody-S10, RJL IV, PDA e MVC (foto)	InBody-S10		
Estados Unidos				<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -1,07 • Mulheres: -0,85 • Homens: -1,41 	NA	0,92 0,87 0,91
				Foto		0,96
				<ul style="list-style-type: none"> • Todos: -0,42 • Mulheres: -0,58 • Homens: -0,70 	-5,55; 4,71 -6,06; 4,90 -4,06; 4,32	0,93 0,94
Cedillo et al. (2022)	Mulheres afro-americanas (AA) e caucasianas americanas (CA), 21 a 45 anos	42	Eq.1 Wilmore e Behnke-Siri Eq. 2 Durnin e Womersley-Siri	AA: Eq.1: 1,81 Eq.2: 2,5	NA	NA
Estados Unidos				CA: Eq.2: 2,74 Eq.1: 3,11		

AA: Afro-americanas, CA: caucasianas americanas, CCC: Coeficiente de Correlação de Concordância de Lin, DC: dobra cutânea, IMC: Índice de massa corporal, MVC: modelo de visão computacional, NA: Não aplicável,

Chambers et al. (2015) compararam por ANOVA o %GC de várias equações de DC (Visser, Durnin and Womersley, Gause-Nilson, Jackson e Pollock e Kwok) com o DXA em setenta e oito homens e mulheres caucasianos com obesidade e sem obesidade. Em mulheres, Gause-Nilson e Jackson e Pollock subestimaram significativamente o %GC em comparação ao DXA em 3,47 %GC e 7,12%GC (média das diferenças dentro dos sujeitos do DXA) em mulheres sem obesidade e em 4,57% GC e 7,62% GC em mulheres com obesidade, respectivamente. Visser superestimou significativamente o %GC em 8,26% GC em mulheres sem obesidade, enquanto em indivíduos com obesidade não houve diferença significativa. Kwok superestimou significativamente o %GC em mulheres sem obesidade e com obesidade em 4,97% GC e 7,88% GC, respectivamente. Nenhuma diferença significativa foi encontrada para Durnin and Womersley independente do IMC, em mulheres. Em contrapartida, para os homens, Gause-Nilson, Durnin e Womersley, Visser e Kwok superestimaram significativamente o %GC em 6,35%, 3,61%, 6,60% e 7,74% em homens sem obesidade e em 8,16%, 3,32%, 4,41% e 11,56% em homens com obesidade, respectivamente. Nenhuma diferença significativa foi encontrada para Jackson e Pollock independente do IMC, em homens. Os autores concluíram que as equações de Durnin e Womersley e Jackson e Pollock tiveram concordância razoavelmente boa com DXA em mulheres e homens caucasianos americanos mais velhos, respectivamente. As equações restantes superestimaram significativamente o %GC em homens caucasianos americanos mais velhos. Em geral, resultados mistos foram encontrados em mulheres com Gause-Nilson e Jackson e Pollock subestimando significativamente o %GC, enquanto Visser e Kwok superestimaram o %GC (CHAMBERS et al., 2014).

Silveira et al. (2020) estimaram o %GC e o nível de concordância entre BIA, DC e DXA em 132 idosos. A BIA e DC mostraram forte concordância para estimar o %GC em todos os participantes (CCC= 0,857 e 0,861, respectivamente) e entre mulheres (CCC= 0,788 e 0,726, respectivamente) quando comparados ao DXA. Além disso, foi encontrado uma subestimação do %GC pela BIA e DC para todos os níveis de GC. Mesmo com a subestimação do %GC, os autores concluíram que a BIA e DC mostraram um forte nível de concordância com o DXA em todos os participantes e entre as mulheres (SILVEIRA et al., 2020).

Estudos descrevem que a concordância entre BIA e DXA é variável, de acordo com o sexo (GOLJA et al., 2020), níveis de GC (ACHAMRAH et al., 2018) e modelo do equipamento utilizado (GÁBA et al., 2015). Tinsley (2017) observou que o viés proporcional foi maior em mulheres e em indivíduos com menor quantidade de MG, indicando que a BIA de frequência única subestimou a MG em relação à DXA; por outro lado, em indivíduos com maior MG, a concordância foi melhor (TINSLEY, 2017).

Outro estudo comparou a avaliação de MG e MLG por DXA e BIA multifrequencial de acordo com o IMC em 3655 adultos acompanhados em um ambulatório de uma unidade de Nutrição. Para pacientes com IMC normal, a diferença entre DXA e BIA para MG e MLG aumentou com o aumento do IMC. Para pacientes com sobrepeso e obesidade ($25 < \text{IMC} < 40 \text{ kg/m}^2$), a BIA superestimou a MLG de $7,1 \pm 0,2$ a $8,2 \pm 0,1$ kg e subestimou a MG de $5,6 \pm 0,2$ a $4,0 \pm 0,1$ em comparação com o método DXA. Dessa forma, foi descrito que não houve concordância entre os métodos BIA e DXA no nível individual, independentemente do IMC (ACHAMRAH et al., 2018). Mais estudos foram sugeridos com avaliação por gênero e a utilização de mais de um analisador, considerando uma pesquisa detalhada prévia sobre como são realizados os cálculos, quais modelos eletrofisiológicos e de regressão foram adotados para aquela população, uma vez que os mesmos podem medir valores de R e Xc diferentes ou características específicas de construção não são divulgadas (SILVA; CARVALHO; FREITAS, 2018).

O dispositivo de US modo-A foi descrito como um método confiável na avaliação do %GC em indivíduos eutróficos (MICLOS-BALICA et al., 2021; WAGNER; TERAMOTO, 2020). Entretanto, comparado ao DXA, Johnson et al. (2017) avaliaram a concordância entre o US modo-A e DXA em homens e mulheres universitários, e não foi descrito concordância entre os métodos avaliados e observou-se que havia grandes limites de concordância entre os métodos (JOHNSON et al., 2017). Já em indivíduos com obesidade, os estudos com indivíduos com obesidade são limitados, destacando a necessidade de mais pesquisas nessa área (WAGNER, 2013).

Em relação a avaliação corporal por foto, Sullivan et al. (2022) compararam o %GC derivado de um modelo de 3C baseado em imagem 2D com o DXA em adultos jovens. O programa de análise de imagens 2D forneceu uma

estimativa precisa e não invasiva do %GC. Tais resultados indicam que um o modelo baseado em imagem 3C permite um método mais econômico e portátil de avaliação da CC, o que contribui potencialmente o aumento da acessibilidade a métodos multicomponentes.

Majmudar et al. (2022) avaliaram o desempenho do VC na estimativa do %GC diretamente a partir de fotografias digitais 2D capturadas por smartphones pessoais, em comparação a PDA e cinco analisadores de BIA (incluindo modelos de frequência única e multifrequenciais) disponíveis comercialmente, tendo DXA como referência. O método VC com utilização de foto 2D apresentou o menor erro médio absoluto e desvio padrão e os limites de concordância em comparação a PDA e os analisadores de BIA. O %GC por foto 2D também apresentou concordância mais forte com o da DXA em comparação com os outros métodos e o IMC. Nenhum viés significativo estava presente para VC em relação ao DXA de acordo com uma análise de Bland-Altman. Esses resultados apoiam o uso e a viabilidade do VC com a foto 2D para medição e monitoramento da GC total. No entanto, os autores descreveram que uma amostra maior e mais diversificada poderia fortalecer ainda mais as descobertas do estudo.

Apesar dos estudos compararem diversos métodos de CC com o DXA, ainda há limitações em relação ao tipo e quantidade de equipamentos utilizados (BENITO et al., 2019), número amostral, idade (ROCKAMANN et al., 2017), sexo (SILVEIRA et al., 2020), etnia e equações preditivas utilizadas (BLUE et al., 2021). Assim, há necessidade de mais estudos acerca dessa temática a fim de identificar quais métodos podem demonstrar uma mensuração mais precisa do %GC em adultos.

3 JUSTIFICATIVA

A CC é reconhecida como um importante determinante da saúde. A avaliação dos componentes corporais fornece informações que contribuem para a identificação, diagnóstico e manejo de diversas doenças. Em especial, a GC é amplamente estudada, pois o excesso da mesma está associado com a obesidade e fatores de risco para doenças cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2, alguns tipos de câncer, dentre outros, bem como alta morbi-mortalidade mundial. Neste contexto, diferentes métodos foram desenvolvidos e estimam o %GC com diferentes princípios físicos, diferentes modelos e metodologias para a avaliação. Tais métodos compreendem equipamentos simples, menos dispendiosos como a antropometria, DC, BIA, US modo-A, foto 2D até os mais sofisticados, como a DXA.

Os métodos mais simples podem produzir erros aceitáveis comparados a métodos de referência. Ao comparar métodos, é possível identificar possíveis vieses e erros inerentes a cada técnica de medição. Assim, a avaliação da concordância entre esses métodos ajuda a compreender essas diferenças. A literatura apresenta estudos que compararam os diversos métodos de CC, entretanto são escassos os estudos que investigaram a concordância entre DC, diversos modelos de BIA, US modo-A e fotos 2D comparados com a DXA em uma mesma população. Dessa forma, os resultados obtidos nessa tese de doutorado podem contribuir para fornecer uma forma de comparar e padronizar os dados de referência de CC, bem como identificar quais métodos podem demonstrar uma mensuração mais precisa dos componentes corporais, como o %GC em adultos. Tais achados poderão auxiliar na avaliação o estado nutricional, subsidiar estudos da área básica para estudar mecanismos de ação para as adaptações da composição corporal frente a indivíduos saudáveis, em doenças e no exercício físico, além de ser uma ferramenta importante no diagnóstico e acompanhamento do estado de saúde geral.

4 HIPÓTESES

4.1 CONCORDÂNCIA ENTRE DXA E MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PERCENTUAL DE GORDURA

H₀ – Não haverá concordância aceitável entre DXA e os métodos avaliados.

H₁ – Haverá concordância aceitável apenas entre DXA e o método de dobra cutânea.

H₂ - Haverá concordância aceitável apenas entre DXA e um ou mais modelos de BIA.

H₃ - Haverá concordância aceitável apenas entre DXA e o método de US modo-A.

H₄ - Haverá concordância aceitável apenas entre DXA e o método de foto 2D.

H₅ - Haverá concordância aceitável entre DXA e diferentes métodos de avaliação de composição corporal.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a concordância entre a DXA e diferentes métodos para estimar o percentual de gordura corporal em indivíduos adultos.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

5.2.1 Manuscrito 1

- Avaliar a concordância dos métodos estratificados por sexo, idade e IMC.

5.2.2 Manuscrito 2

- Avaliar a diferença percentual de BIA e foto 2D em comparação a DXA para estimar o percentual em adultos em dois momentos.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 DESENHO DO ESTUDO E POPULAÇÃO ALVO

O presente estudo é do tipo observacional, transversal e analítico, realizado no Laboratório de Desenvolvimento de Alimentos para Fins Especiais e Educacionais (LabDAFEE), Centro de Ciências em Saúde na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O estudo foi conduzido de acordo com a Declaração de Helsinque e aprovado pelo comitê de ética em pesquisa do Hospital Universitário da UFRJ pelo nº 5.271.068 (ANEXO 1).

A amostra do estudo foi composta por indivíduos de ambos os sexos, com idade entre 18 e 65 anos. Os sujeitos da pesquisa foram recrutados por divulgação *online* nas redes sociais Facebook®, Instagram® e Twitter® (ANEXO 2). Os interessados entraram em contato com os pesquisadores para verificar se estavam dentro dos critérios de inclusão. Após essa etapa, receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (ANEXO 3) e após concordância, foi agendado o dia e horário da coleta.

Para serem incluídos no estudo os participantes deveriam estar abaixo do peso limite de 150 kg devido à limitação de peso em alguns equipamentos, não terem amputação e estarem deambulando. Além disso, os indivíduos foram orientados quanto ao protocolo pré-avaliação, que consistiu em: (1) não consumir álcool, cafeína e remédios diuréticos 12 horas antes do teste; (2) não praticar exercício físico ou frequentar saunas nas oito horas que antecedem o teste; (3) estar em jejum de quatro horas antes do teste; (4) estar com a bexiga vazia no momento do teste; (5) estar com trajes de banho, sendo sunga para os homens e top e short curto e colado ao corpo para mulheres que não possuam partes em metal; (6) retirar todos os pertences de metais como brincos, piercings, anéis. Os participantes da pesquisa que tinham alguma alteração tecidual (muscular, óssea, adiposa), edema, limitações de movimento, estivessem em período menstrual, gestantes ou não queriam participar de alguma etapa e não tenham seguido o protocolo foram excluídos do estudo, sem prejuízos a eles (Figura 13).

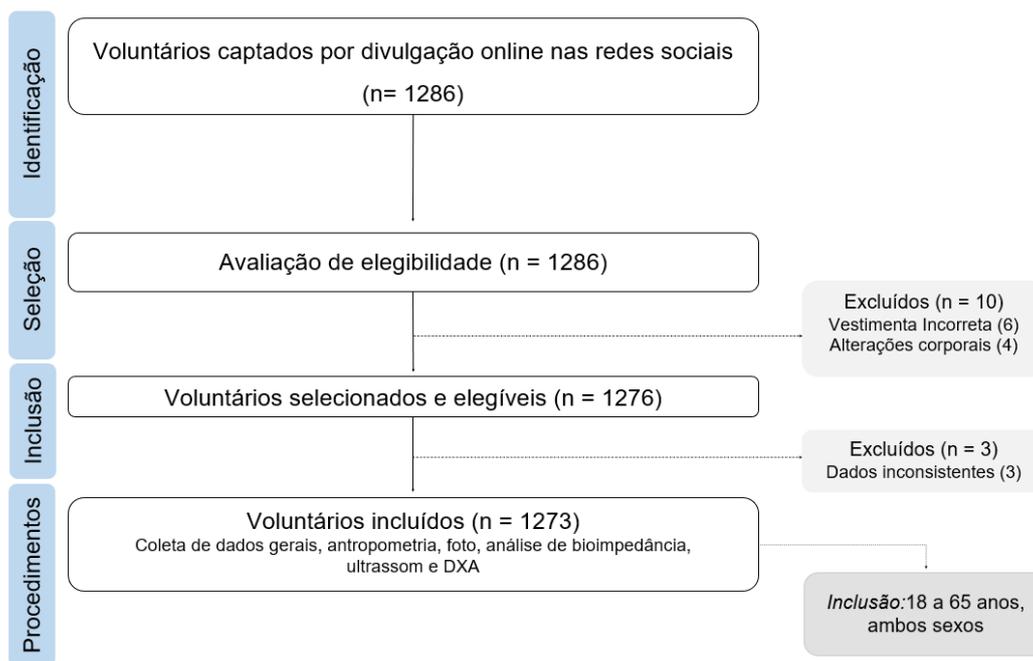


Figura 13. Fluxograma de amostragem do estudo.

Os participantes da pesquisa assinaram o TCLE assim que chegaram no local de coleta. Após, responderam um questionário contendo perguntas sobre cidade de moradia, prática de exercício físico, diagnóstico prévio de doenças, uso/presença de prótese metálica, alimentação e ciclo menstrual (ANEXO 4). A coleta dos dados antropométricos, contendo perímetros corporais e DC foi realizada após questionário. Depois, foi utilizado um aplicativo que utiliza IA para avaliação dos perímetros e CC por meio de quatro fotos do voluntário. Posteriormente, os indivíduos foram avaliados por cinco modelos de BIA e um modelo de US modo-A. Após a avaliação por todos os métodos, o sujeito foi encaminhado para o exame de DXA (Figura 14).

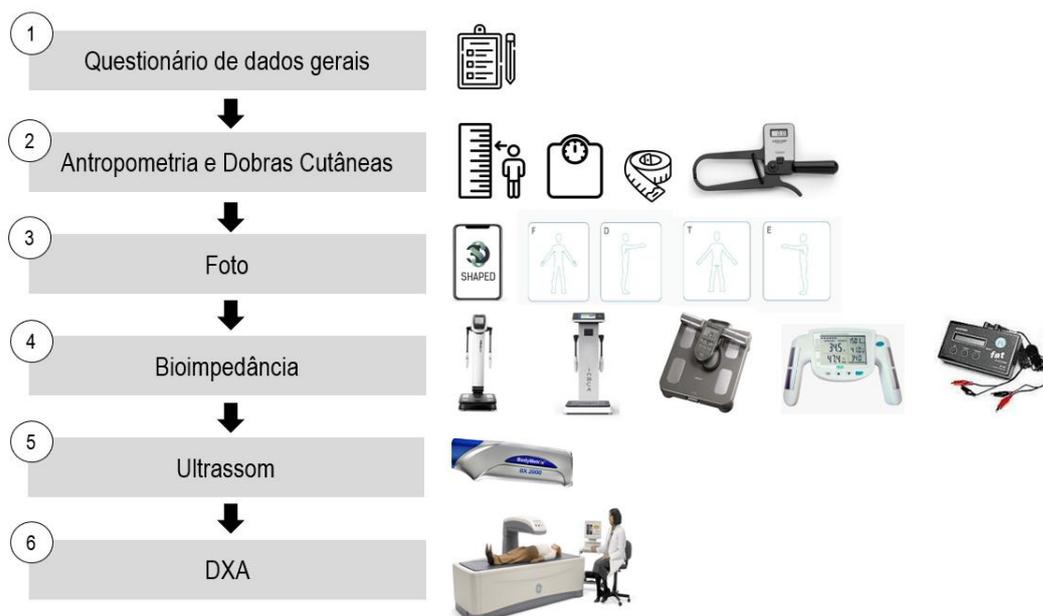


Figura 14. Fluxograma da coleta de dados.

As coletas foram feitas individualmente, respeitando os protocolos higiênicos sanitários vigentes na data da avaliação. Os participantes agendaram um horário para evitar aglomerações e todos os equipamentos foram higienizados entre os testes. Ao início e ao final de cada dia de testes, toda a sala de avaliação foi completamente higienizada. Os participantes assim como os avaliadores presentes na sala estavam de máscara durante todo o tempo.

O estudo teve uma validação longitudinal descrita no Manuscrito 2, no tópico 7.2. Os participantes tiveram uma visita de acompanhamento opcional, agendada 12 a 16 semanas após a visita inicial. O protocolo de avaliação e as variáveis analisadas foram as mesmas em ambos os momentos. Os participantes não foram especificamente instruídos a mudar qualquer aspecto do seu estilo de vida habitual após a visita inicial, mas foram informados de que poderiam perder, ganhar ou manter peso entre as visitas.

6.2 QUESTIONÁRIO DE DADOS GERAIS

Os voluntários responderam um questionário contendo questões sobre cidade e estado de residência, prática de exercícios físicos (se sim, que tipo de exercício e frequência semanal), diagnóstico prévio de doenças, alimentação (padrão alimentar: onívoro, ovolactovegetariano, ovovegetariano, lacto-

vegetariano, pesco-vegetariano, vegetariano estrito), horário da última refeição, para mulheres: ciclo menstrual (regular ou irregular), data de início do último período menstrual, duração do período menstrual, uso de anticoncepcional e número de gestações. As informações foram autorrelatadas.

6.3 AVALIAÇÃO ANTROPOMÉTRICA

A coleta dos dados antropométricos seguiu os padrões antropométricos internacionais da *International Society for the Advancement of Kinanthropometry* (ISAK) (MARFELL-JONES et al., 2006) e foram realizados por um único antropometrista nível 2 ISAK. Para avaliação da estatura foi utilizado estadiômetro Avanutri AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brasil), com graduação de 0,1 cm. Os indivíduos foram orientados para se posicionarem à frente do estadiômetro em posição ortostática, com os calcanhares unidos e a cabeça posicionada em plano de Frankfurt. A massa corporal foi medida com balança eletrônica inBody 270 (InBody, Seoul, Korea), com graduação de 0,1 kg.

6.4 DOBRAS CUTÂNEAS

As espessuras de gordura subcutânea tricipital, subescapular, bicipital, crista ilíaca, abdominal, coxa média e panturrilha foram avaliadas em locais padronizados pela ISAK (MARFELL-JONES et al., 2006), por um único antropometrista ISAK nível 2 e por meio de plicômetro digital (Cescorf, Brasil), usando um único antropômetro ISAK nível 2, treinado e certificado. As medidas foram realizadas duas vezes no lado direito do corpo e foi utilizado o valor médio. Quando foi identificada diferença >2% entre os valores, foi realizada uma terceira medida, e o valor médio incluiu os três valores medidos. A Dc e o %GC foram calculados de acordo com equações preditivas. Os seguintes critérios de inclusão foram aplicados para identificar equações preditivas de DC publicadas para cálculo do %GC: 1. equações disponíveis no US portátil modo-A; 2. indivíduos saudáveis; e 3. sexo como variável preditora ou classificação por sexo. As seguintes equações preditivas para Dc e %GC foram selecionadas, respectivamente: Sloan (1967) e Brozek (1963), Durnin and Rahaman (1967) e

Siri (1956) para homens. Para mulheres, foram utilizadas duas equações de Jackson e Pollock (1985) e Siri (1956) e Jackson, Pollock and Ward (1980) and Siri (1956) (Tabela 6).

Tabela 6. Equações utilizadas para estimar a densidade corporal e percentual de gordura corporal no presente estudo.

Referência (ano)	Pontos avaliados	Equação Dc (g/ml)	Equação %GC
Durnin e Rahaman (1967)	Bíceps, tríceps, subescapular, crista ilíaca	$Dc = 1.1610 - 0.0632 \log (DCB + DCT + DCSE + DCCI)$	Siri (1961) $((4.95/D) - 4.50) * 100$
Sloan (1967)	Coxa média e subescapular	$Dc = 1.1043 - 0.001327 DCC - 0.001310 DCSE$	Brozek (1963) $100(4.570/D - 4.142)$
Jackson, Pollock e Ward (1980)	Tríceps, abdominal, crista-ilíaca, coxa média	$Dc = 1.0960950 - 0.0006952 (DCT + DCAB + DCCI + DCC) + 0.0000011(DCT + DCAB + DCCI + DCC)^2 - 0.0000714 (\text{idade em anos})$	Siri (1961) $((4.95/D) - 4.50) * 100$
Jackson e Pollock (1985) Eq. 1	tríceps, abdominal, crista-ilíaca	$Dc = 1.089733 - 0.0009245 (DCT + DCAB + DCCI) + 0.0000025 (DCT + DCAB + DCCI)^2 - 0.0000979 (\text{idade em anos})$	Siri (1961) $((4.95/D) - 4.50) * 100$
Jackson e Pollock (1985) Eq. 2	Tríceps, crista-ilíaca, coxa média	$Dc = 1.099421 - 0.0009929 (DCT + DCCI + DCC) + 0.0000023 (DCT + DCCI + DCC)^2 - 0.0001392 (\text{idade em anos})$	Siri (1961) $((4.95/D) - 4.50) * 100$

DCAB: dobra cutânea abdominal, DCB: dobra cutânea bicipital, DCC: dobra cutânea da coxa, DCSE: dobra cutânea subescapular, DCCI: dobra cutânea crista-ilíaca, DCT: dobra cutânea tricipital, Dc: Densidade corporal.

6.5 ULTRASSOM MODO-A

A CC foi medida por um sistema portátil de US modo A, BodyMetrix® BX2000 (IntelaMetrix). Os equipamentos de US foram colocados em locais anatômicos previamente marcados por um único antropometrista experiente. O equipamento foi mantido contra a pele dos sujeitos por meio de um gel condutor durante as leituras. Conforme descrito anteriormente, as leituras foram feitas nas áreas correspondentes aos locais das DC: tríceps, subescapular, bíceps, crista ilíaca, abdômen, meio da coxa e panturrilha. A Dc foi calculada usando medidas de espessura obtidas por US portátil seguindo as equações preditivas

previamente descritas na seção DC. A seleção de equações para medidas de DC e US baseou-se na disponibilidade de equações validadas para avaliação US.

6.6 AVALIAÇÃO FOTOGRÁFICA

Os participantes foram orientados a ficar em pé com as pernas e os braços abertos, garantindo que não houvesse pontos de contato entre si ou com o tronco, conforme descrito por Alves et al. (2023). Quatro fotos (lado frente, costas, esquerdo e direito) foram capturadas contra fundo branco com a câmera frontal de um iPhone 11 (Apple, Inc.) posicionada em um pedestal a aproximadamente dois metros de distância dos indivíduos. As fotos foram analisadas por meio de um aplicativo de avaliação de imagem corporal baseado em IA (Shaped, Rio de Janeiro, Brasil). Este aplicativo usa imagens de câmera 2D com aprendizado profundo e uma abordagem de aprendizado de máquina baseada em sexo para estimar o %GC. O aprendizado profundo foi usado para identificar o corpo humano e projetar um método de visão computacional inspirado na anatomia humana para isolar os membros superiores e inferiores, o tronco e partes do corpo; identificar os pontos de medição; e aplicar métodos de regressão para determinar as partes do corpo e o %GC. Assim, técnicas de processamento digital de imagens e aprendizado de máquina foram utilizadas para estimar o %GC usando quatro imagens de câmeras 2D e fatores adicionais, como idade, peso, altura e sexo. Os dados foram otimizados e treinados usando dados de teste internos, em vez de externos.

6.7 ANÁLISE DE IMPEDÂNCIA BIOELÉTRICA CORPORAL

A avaliação de BIA foi realizada em cinco equipamentos: inBody 270 (InBody, Seoul, Korea), InBCA F-500 (InBCA, Shenzhen, China), Omrom HBF-514 (Omron, Kioto, Japan, AVA-030 (AvaNutri, Três Rios, Brasil), MaltronBF900 (Maltron, Essex, England). Para a realização deste teste nos modelos InBody 270 e InBCA F-500, o indivíduo subiu ao equipamento com os pés tocando completamente nos eletrodos presentes na plataforma, com a mão segurou as hastes que contém os eletrodos dos membros superiores mantendo os braços

afastados do tronco até que a leitura se completasse. Estes modelos são equipamentos tetrapolares, com oito eletrodos multifrequenciais. A InBody 270 possui as frequências 20 e 100 kHz. A InBCA F-500 possui as frequências de 5, 50, 250, 500 e 1000 kHz.

O equipamento Omron HBF-514 é tetrapolar, possui quatro eletrodos e atua em 50 kHz. Para a leitura deste equipamento o indivíduo subiu à plataforma de modo que os pés estivessem em completo contato com os eletrodos. Ao sujeito foi entregue os eletrodos dos membros superiores que se destacam da plataforma, o qual foi erguido à altura dos ombros à frente do corpo, e mantidos nesta posição até que o teste se encerrasse.

O AVA-030 é um equipamento bipolar que possui dois eletrodos e atua em 50 kHz. Este equipamento não possui plataforma, sendo composto por um dispositivo a ser segurado à altura dos ombros à frente do tronco durante o tempo de leitura do teste.

O equipamento Maltron BF900 é bipolar com quatro eletrodos e atua em 50 kHz. Para realização dessa análise, o indivíduo ficou deitado na plataforma da DXA. Os eletrodos foram inseridos nas posições indicadas no braço e no pé direitos e o teste foi realizado antes da análise do DXA.

6.8 ABSORCIOMETRIA DE RAIOS-X DE DUPLA ENERGIA

A MG foi estimada pelo aparelho DXA GE Prodigy Advance (GE Healthcare, Madison, Wisconsin, EUA) com software enCore 2008 versão 12.20 e utilizado no modo de varredura automática de corpo inteiro. Os participantes foram posicionados deitados em decúbito dorsal e orientados a não se movimentar, a retirar qualquer acessório de metal como piercings, brincos, pulseiras e cordão e evitarem falar durante o procedimento. Os exames foram realizados por um único profissional treinado e qualificado, seguindo os procedimentos de controle de qualidade recomendados pelo fabricante, bem como as recomendações oficiais da *International Society for Clinical Densitometry* (CRABTREE et al., 2014). Caso o sujeito apresentasse área corporal maior que a área de leitura do equipamento, o exame foi realizado no lado direito do corpo e repetido no lado esquerdo (MESSINA et al., 2020).

6.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise de distribuição amostral foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk. As análises de concordância foram realizadas a partir abordagem tradicional de Bland e Altman (1999) e a regressão linear foi utilizada para avaliar o viés de proporção dos métodos (BLAND; ALTMAN, 1999). A análise do erro absoluto médio (EAM), erro percentual absoluto médio (EPAM) e erro quadrático médio (EQM) foram avaliados. O Coeficiente de Correlação de Concordância de Lin (CCC) foi utilizado para avaliar a concordância entre cada método com a DXA (LIN, 1989). Foram adotados os seguintes pontos de corte: concordância fraca? (CCC <0,90); concordância moderada (CCC = 0,90–0,95); concordância substancial (CCC = 0,95–0,99) e concordância quase perfeita (CCC >0,99) (MCBRIDE, 2005). Foi adotado nível de significância de $p < 0,05$. As análises estatísticas foram realizadas no software Medcalc versão 20.215.

7 RESULTADOS

7.1 MANUSCRITO 1

O manuscrito 1 será submetido na revista científica **npj Digital Medicine**.

**ADVANCE IN ESTIMATION OF ADULT BODY FAT PERCENTAGE USING
AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE 2D-PHOTO METHOD: ASSESSMENT OF
AGREEMENT BETWEEN FIELD METHODS AND
DUAL-ENERGY X-RAY ABSORPTIOMETRY**

Tathiany J. Ferreira¹, Igor C. Salvador¹, Carolina R. Pessanha¹, Renata R.M. da Silva¹, Aline D. Pereira², Maria A. Horst³, Denise P. Carvalho⁴, Josely C. Koury⁵, Anna P.T.R. Pierucci^{1*}.

¹Josué de Castro Institute of Nutrition, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

² Department of Nutrition, University of Vassouras, Maricá Campus, RJ, Brazil.

³ Faculty of Nutrition, Federal University of Goiás, Goiania, Goiás, Brazil.

⁴ Carlos Chagas Filho Institute of Biophysics, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

⁵ Institute of Nutrition, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

*Corresponding author: pierucci@nutricao.ufrj.br

Abstract

Body composition (BC) plays a crucial role in assessing overall health status. Various methods are available for assessing BC. However, research has shown

that some methods are generally less precise and can produce estimation errors within acceptable limits. Therefore, there is a growing need to evaluate the agreement between the field methods and integrate artificial intelligence (AI) using two-dimensional (2D) photos for enhanced real-world analysis. This study aimed to evaluate the agreement between field methods, skinfolds (SF), A-mode ultrasound (US), bioelectrical impedance analysis (BIA), and AI-2D photo, and the clinical reference method, dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), to estimate the body fat percentage (BFP) in adults. A cross-sectional study was conducted with 1273 adults of both sexes. The Bland–Altman plots, Lin's Correlation Coefficient of Agreement (CCC), mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), and mean squared error (MSE) were calculated considering all participants and subgroups based on sex, age, and body mass index (BMI). BFP values obtained using SF predictive equations, mode-A US, InBCA F-500, AVA 300, and Maltron BIA devices disagree with the DXA values (CCC <0.90). InBody 270 and Omron HBF-514 BIA devices, showed moderate agreement (CCC =0.90 to 0.95) when considering all participants, age groups (> 30 years), and BMI > 25 kg/m². AI-2D photo demonstrated substantial agreement, and the highest agreement was with DXA (CCC ≥ 0.96). The lack of agreement between mode-A US, SF predictive equations, and BIA devices with DXA BFP values was observed possibly due to methodological and biological factors. These findings make valuable contributions to implementing modern BC analysis methods in clinical practice.

Keywords: body composition, body fat mass, anthropometry, ultrasound, bioelectrical impedance, 2D-photo, absorptiometry photon.

Introduction

Body composition (BC) refers to the proportion of different compartments of the human body, including fat mass (FM) and fat-free mass (FFM), which consists of soft tissue, bone, and water. It is an important tool for assessing the overall health and disease risk of individuals¹.

FM assessment is important in clinical practice and public health because it increases the risk of developing chronic diseases and mortality². However, the current classification of obesity is determined using the body mass index (BMI), which does not differentiate among body compartments³. In addition, some overweight individuals, such as athletes, are not truly overweight. In contrast, some people have a normal BMI but a high body fat percentage (BFP). This raises the question of how to assess body fat accurately⁴.

Body compartments, such as the FFM and FM, can provide valuable insights into an individual's risk for various health conditions and can be used as key tools for assessing nutritional status⁵, following clinical interventions, and nutritional strategies^{1,5}. Several BC techniques are available for estimating the FM. Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), hydrostatic weighing, and air displacement plethysmography are considered highly accurate methods for assessing BC¹. DXA is considered the reference standard for assessing bone mineral density. Technological improvements have enabled the use of DXA in new applications, offering the possibility of evaluating other body compartments⁶. Thus, DXA has been suggested as a method for FM assessment in individuals with diabetes and cardiovascular diseases⁷, and has been widely used as a reference method to validate other methods for adults in clinical research⁸⁻¹¹.

However, this procedure is expensive, requires a radiology specialist, and is not feasible in routine clinical practice¹.

Portable devices, such as skinfold (SF) measurements, A-mode ultrasound (US), bioelectrical impedance analysis (BIA), and computer vision and artificial intelligence (AI) using two-dimensional (2D) photos, are simpler, more practical, and easily transported^{1,12-14}. Although research has shown that they are generally less precise, they can produce estimation errors within acceptable limits compared to more accurate methods¹⁵. Thus, studies using more accessible BC devices have been widely performed to assess the agreement with DXA as an alternative for BC analysis¹⁶⁻¹⁹.

Portable devices to estimate BC may be more advantageous and accurate than BMI in categorizing nutritional status. The agreement between the different methods used to assess relative BFP has been widely analyzed in the general population¹⁷, athletes²⁰, and individuals with specific diseases²¹.

SF can provide body fat information similar to that of DXA in young, healthy adults¹⁶, and the elderly²². However, this agreement may not be true for obese individuals²³. Compared with DXA, A-mode US provided reasonable estimates of BFP in men,²⁴ but no agreement was found among college-aged adults²⁵. The concordance between BIA and DXA varies and depends on factors such as sex¹⁶, body fat¹⁷, and the specific model of the device used²⁶. Different BIA device models perform single-frequency or multifrequency analysis, leading to various levels of accuracy^{27,28}. Recently, AI-2D photo assessment has provided an accurate and noninvasive estimate of BFP²⁹. Studies have reported a high concordance between AI-2D photo and DXA, with only a small variation in the

percentage error, compared with other equipment used to estimate BFP. However, further validation is required to confirm this finding^{18,29,30}.

Considering the great diversity and advances in BC assessment methods, a comparison of different body fat measurement methods is important to ensure the validity, accuracy, and reliability of the measurements. Testing the agreement between the BC methods in a large and heterogeneous sample is relevant for clinical practice and public health. Therefore, our objective is to evaluate the agreement among portable devices, such as SF, A-mode US, BIA, and AI-2D photo, compared to DXA for assessing BFP in adults. We hypothesize that different technologies, with their fundamentals and limitations, may not agree with a high-accuracy method such as DXA in BFP assessment.

Material and methods

Study design and participants

This cross-sectional study was conducted at the Laboratory of Development of Foods for Special Needs and Educational Purposes, Health Sciences Center, Federal University of Rio de Janeiro, following the Declaration of Helsinki and approved by the ethics committee for research of the University Hospital (protocol number: 5.271.068). Volunteers were recruited through social media platforms (Facebook and Instagram) between September 2021 and February 2022. The study sample comprised individuals of both sexes, aged between 18 and 65 years (**Fig. 1**).

The inclusion criteria were as follows: weight limit of 150 kg due to equipment limitations, no history of amputation, impaired walking, and absence of a pacemaker. The subjects were oriented with the pre-exam protocol which

was: (1) no consumption of alcohol and caffeine twelve hours before the exam; (2) no exercise or going to saunas eight hours before the exam; (3) fasting for four hours before the exam; (4) bladder emptying before the exam; (5) wearing of bathing clothes, such as swimming trunks for men and sports bra and shorts for women, without metal parts; (6) taking off of all metal accessories, such as rings, earring, and piercings; (7) female participants were asked to be present on the day of collection that they were not in their menstrual period. Subjects with any tissue alterations (muscular, bone, or fat), edema, movement limitations, menstrual period, pregnancy, refusal to participate at any stage of the study, or failure to follow the protocol were excluded from the study.

General information was obtained through a structured questionnaire that included age, sex, participation in physical exercise (yes or no), and previous diagnosis of diseases (yes or no). To monitor possible external variables, the time of last meal intake and physical activity, date of last menstruation, and duration of the menstrual period were assessed. This information was self-reported. All participants voluntarily agreed to participate in the study, and written informed consent was obtained. The volunteers were evaluated using the SF, US, BIA, AI-2D photo, and DXA with a one-minute interval between each method.

Anthropometrical measurements

Anthropometric data were measured according to the patterns of the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK)³¹ and by a single, trained, and certified ISAK level 2 anthropometer. The stature was measured using an Avanutri AVA-305 stadiometer (AvaNutri, Três Rios, Brazil), graded to 0.1 cm. Individuals were instructed to stand in front of the stadiometer

in an orthostatic position, with heels united and head positioned in Frankfurt. Body mass was measured using an InBody-270 (InBody, Seoul, Korea), graded to 0.1 kg. The BMI was calculated by dividing the weight (kg) with the square of the height (m)³.

SF measurements

Subcutaneous fat thickness was measured at the triceps, subscapular, biceps, iliac crest, abdominal, mid-thigh, and calf sites according to the ISAK protocol³¹ with a digital plicometer (Cescorf, Brazil), using a single, trained, and certified ISAK level 2 anthropometer. The measurements were performed twice on the right side of the body and the mean value was used. When a difference of >2% was identified between the values, a third measurement was taken, and the mean value included the three values measured. Body density and BFP were calculated using predictive equations. The following inclusion criteria were applied to identify published SF predictive equations for calculating BFP: (1) equations available for the A-Mode US portable device; (2) healthy individuals; and (3) sex as a predictor variable or sorted by sex. The following predictive equations for body density and BFP were selected for men, respectively: Sloan (1967)³² and Brozek (1963)³³, Durnin and Rahaman (1967)³⁴ and Siri (1956)³⁵; for women, two equations were used by Jackson and Pollock (1985)³⁶ and Siri (1956)³⁵, described as equation 1: SF Jackson and Pollock 3S and equation 2: SF Jackson and Pollock2 3S) and one equation of Jackson, Pollock, and Ward (1980) and Siri (1956)³⁵, described as SF Jackson, Pollock and Ward 4S **(Supplementary Table 1)**.

A-Mode US

The BC was measured by a portable A-mode US system, BodyMetrix® BX2000 (IntelaMetrix). The US equipment was placed at anatomical sites previously marked by an experienced anthropometrist. The equipment was held against the skin of the subjects using a conductive gel during the readings. As described previously, readings were taken at the areas corresponding to the SF sites of the triceps, subscapula, biceps, iliac crest, abdomen, mid-thigh, and calf. Body density was calculated using thickness measurements obtained by portable US following the predictive equations previously stated in the SF section. The selection of equations for both SF and US measurements was based on the availability of validated equations for US assessment.

BIA

The BFP estimation by BIA was performed using five devices: InBody-270 (InBody, Seoul, Korea), double frequency (20 e 100 kHz) and tetrapolar with eight electrodes; InBCA F-500 (InBCA, Shenzhen, China) multifrequency (5, 50, 250, 500 kHz) and tetrapolar with eight electrodes; Omron HBF-514 (Omron, Kioto, Japan), single frequency (50 kHz), and tetrapolar with four electrodes; AVA-030 (AvaNutri Três Rios, Brazil), single frequency (50 kHz), hand-to-hand model with four electrodes; and MaltronBF900 (Maltron, Essex, England), single frequency (50 kHz) and bipolar with four manual electrodes. Manufacturers' BF is not shown predictive equations for BF calculation. We assume that this equation was used:

$$\text{Body Fat (BF) (kg)} = \text{Total Body Mass (TBM) (kg)} - \text{Fat-Free Mass (kg)}.$$

AI-2D photo

The participants were instructed to stand with their legs and arms, ensuring no points of contact between themselves or with their trunk, as described by Alves et al.³⁷ (**Fig. 2**). Four photographs (frontal, rear, left, and right profiles) were captured against a white background with the front camera of an iPhone 11 (Apple, Inc.) positioned on a pedestal approximately two meters away from the individuals. Photographs were analyzed using an AI-based body image assessment application (Shaped, Rio de Janeiro, Brazil). This application uses 2D camera images with deep learning and a machine-learning sex-based approach to estimate the BFP. Deep learning was used to identify the human body and design a computer vision method inspired by the human anatomy to isolate the upper and lower limbs, trunk, and body parts; identify the measurement points; and apply regression methods to determine the body parts and BFP. Thus, digital image processing and machine learning techniques were used to estimate the BFP using four 2D camera images and additional factors, such as age, weight, height, and sex. The data were optimized and trained using internal, rather than external, trial data.

DXA

The FM was estimated using a DXA GE Prodigy Advance device (GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA) with enCore 2008 software version 12.20 in automatic full-body scan mode. The participants were placed in a supine (dorsal) position and instructed to remain still throughout the procedure. The examinations were conducted by a single, trained, and qualified professional following the quality control procedures recommended by the manufacturer and the official recommendations of the International Society for Clinical

Densitometry³⁸. If the subject had a body area larger than the equipment reading area, the examination was performed on the right side of the body and repeated on the left side⁶.

Statistical Analysis

Analysis of the sample distribution was performed using the Shapiro–Wilk test. The descriptive data are expressed as mean \pm standard deviation and percentage. Agreement analyses were performed using the Bland–Altman approach. The results are described as differences and plotted differences as percentages. Linear regression was used to evaluate the proportional bias of the SF, BIA, US, and AI-2D photo³⁹. The mean absolute error (MAE), mean absolute percentage error (MAPE), and mean square error (MSE) were calculated. Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) was used to assess the concordance between each method with the DXA⁴⁰. The strength of the agreement criteria for CCC was according to McBride: CCC<0.90, poor agreement; CCC: 0.91–0.95, moderate agreement; CCC: 0.96–0.99, substantial agreement; and CCC>0.99, almost perfect agreement⁴¹. Analyses were performed for all participants and according to sex (men and women), age (18–29, 30–39, 40–49 and 50–65 years), and BMI (≤ 24.9 , 25–29.9 and ≥ 30 kg/m²). Statistical significance was set at $p < 0.05$. Statistical analyses were performed using MedCalc version 20.215.

Results

The sample consisted of 1273 individuals, mainly women (54.6%), with a mean age of 35 years, height 168.29 ± 9.25 cm, weight 74.25 ± 16.81 kg, BMI

26.11 ± 5.01 kg/m². **Table 1** shows the general characteristics, anthropometric measurements, BMI classification, and BFP according to the sex of the patients.

The AI-2D photo, Omron HBF-514, and InBCA F-500 achieved a lower bias percentage of -1.24%, -3.79%, and -7.23%, respectively, among all participants (**Fig. 3a–c**). The AI-2D photo achieved the lowest error in estimating the BFP with an overall bias percentage, MAE and standard deviation of 1.56 ± 1.3, MAPE of 5.01%, and MSE of 4.02 compared to DXA. However, Omron HBF-514 and InBody-270 achieved lower values of MAE (3.19 ± 2.5, 3.40 ± 2.2, respectively), MAPE (11.38 ± 10.7%, 11.93 ± 9.1%, respectively), and MSE (16.56 ± 25.8, 16.48 ± 19.5, respectively). The AI-2D photo and MaltronBF900 did not show proportion bias (p=0.273 and 0.106, respectively). The InBody-270 and Omron HBF-514 showed moderate agreement (CCC=0.92 and 0.91, respectively), while the MaltronBF900, InBCA F-500, and AVA-030 showed poor agreement (CCC=0.82, 0.78, and 0.51, respectively) in the overall participants. The AI-2D photo demonstrated substantial agreement (CCC=0.98) with DXA in all participants, which was higher than that of all the other methods evaluated (**Table 2**).

In the evaluation by sex, the AI-2D photo, MaltronBF900, and US Durnin and Rahaman achieved the lowest bias percentage (-2.03%, -2.87%, -3.89%, respectively) among men (**Fig. 3d–f**). Furthermore, the AI-2D photo and Omron HBF-514 achieved the lowest MAE, MAPE, and MSE values. The AI-2D photo (p=0.359), Omron HBF-514 (p=0.229), and MaltronBF900 (p=0.105) did not show proportional bias. The AI-2D photo showed substantial agreement compared with DXA (CCC=0.98), and all other BC methods showed poor agreement with DXA in men (CCC<0.90) (**Table 2**). For women, the AI-2D photo (-0.58%), Omron

HBF-514, and InBody-270 (-8.83%) achieved the lowest bias percentage (**Fig. 3g-i**), as well as the lowest MAE, MAPE, and MSE values. The SF based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.112$), US based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.320$), Omron HBF-514 ($p=0.127$), InBCA F-500 ($p=0.276$), and AI-2D photo ($p=0.133$) did not show proportional bias. The AI-2D photo showed substantial agreement with DXA ($CCC=0.96$), and all other BC methods showed poor agreement with DXA for women ($CCC<0.90$) (**Table 2**).

By age group, the US-based on Durnin and Rahaman, AI-2D photo, and Omron HBF-514 achieved the lowest bias percentage (-1.20%, -1.78%, and -4.94%, respectively) for individuals aged 18–29 years (**Fig. 4a-c**); the US based on Durnin and Rahaman, SF based on Durnin and Rahaman, and AI-2D photo achieved the lowest bias percentage (-0.64%, -0.75%, and -1.92%, respectively) for individuals aged 30–39 years (**Fig. 4d-f**); the AI-2D photo, Omron HBF-514, and Maltron BF900 achieved the lowest bias percentage (-0.70, -2.28, and -5.00, respectively) for individuals aged 40–49 years (**Fig. 4g-i**); and the AI-2D photo, Maltron BF900, and Omron HBF-514 achieved the lowest bias percentage (-1.16, -3.40, and -5.07, respectively) for individuals aged 50–65 years (**Fig. 4j-l**).

No proportion bias was observed for the SF based on Jackson and Pollock1 3s ($p=0.212$), US based on Jackson and Pollock1 3s ($p=0.894$), and AI-2D photo ($p=0.590$) for individuals aged 18–29 years; the SF based on Jackson and Pollock1 3s ($p=0.666$), US based on Jackson, Pollock, and Ward ($p=0.551$), Omron HBF-514 ($p=0.050$), Maltron BF900 ($p=0.093$), and AI-2D photo ($p=0.953$) showed no proportion bias for individuals aged 30–39 years; the SF based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.368$), SF based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.190$), US based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.966$), US based on

Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.263$), Omron HBF-514 ($p=0.592$), and AI-2D photo ($p=0.152$) showed no proportion bias for individuals aged 40–49 years; and the SF based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.602$), US based on Sloan ($p=0.051$), US based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.798$), US based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.598$), and AI-2D photo ($p=0.177$) showed no proportion bias for individuals aged 50–65 years.

The AI-2D photo achieved among the lowest MAE, MAPE, and MSE values for all age groups and showed substantial agreement compared to DXA for individuals aged 18–29 years ($CCC=0.98$), 30–39 years ($CCC=0.98$), 40–49 years ($CCC=0.97$), and 50–65 years ($CCC=0.97$). The InBody-270 showed moderate agreement for all ages ($CCC=0.90–0.95$), and the Omron HBF-514 showed moderate agreement for individuals aged 30–39 years, 40–49 years, and 50–65 years ($CCC=0.91, 0.92, \text{ and } 0.92$, respectively). The other methods showed poor agreement for all age groups ($CCC<0.90$) (**Table 3**).

Regarding BMI range, the AI-2D photo, US based on Durnin and Rahaman, and Omron HBF-514 achieved the lowest bias percentage (-1.64% , 1.85% , and -7.20% , respectively) for patients with $BMI \leq 24.9 \text{ kg/m}^2$ (**Fig. 5a–c**); the Omron HBF-514, MaltronBF900, and AI-2D photo achieved the lowest bias percentage (-0.83% , -1.03% , and -1.43% , respectively) for patients with BMI range of $25–29.9 \text{ kg/m}^2$ (**Fig. 5d–f**); and the Omron HBF-514, AI-2D photo, and MaltronBF900 achieved the lowest bias percentage (-0.12% , 0.18% , and -0.70% , respectively) for patients with $BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$ (**Fig. 5g–i**).

No proportion bias was noted for SF based on Durnin and Rahaman ($p=0.608$), SF based on Jackson, Pollock1 3S ($p=0.132$), US based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.480$), and AI-2D photo ($p=0.117$) for individuals with

BMI ≥ 24.9 kg/m²; the SF based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.949$), SF based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.313$), SF based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.084$), US based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.844$), US based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.050$), and AI-2D photo ($p=0.475$) showed no proportion bias for individuals with BMI range of 25–29.9 kg/m²; and the SF based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.135$), SF based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.100$), US based on Jackson and Pollock1 3S ($p=0.074$), US based on Jackson and Pollock2 3S ($p=0.760$), US based on Jackson, Pollock, and Ward 4S ($p=0.578$), and Omron HBF-514 ($p=0.881$) showed no proportion bias for individuals with BMI ≥ 30 kg/m². The AI-2D photo achieved among the lowest MAE, MAPE, and MSE values for BMI ranges and showed substantial agreement compared to DXA for individuals with BMI of ≤ 24.9 kg/m² (CCC=0.97), 25–29.9 kg/m² (CCC=0.98), ≥ 30 kg/m² (CCC=0.97) (**Table 4**).

Bland–Altman plots for all methods are presented in **Supplementary Fig. 1–9**. Additional data regarding the bias and 95% limits of agreement expressed as Bland–Altman differences are provided in **Supplementary Table 2**.

Fig. 6 shows a colored representation of the CCC for all participants stratified by sex, age, and BMI. The AI-2D photo showed substantial and the highest agreement with DXA in all age groups and BMI compared with other BC methods (CCC=0.98–0.96). The InBody-270 and Omron HBF-514 analyzer showed moderate agreement depending on the age and BMI of individuals; both showed moderate agreement for all the participants (CCC=0.92 and 0.91, respectively; for individuals aged 30–39 years, CCC=0.92 and 0.91, respectively; for individuals aged 40–49 years, CCC=0.90 and 0.92, respectively; for individuals aged 50–65 years, CCC=0.92 and 0.92, respectively; for individuals

with BMI of 25–29.9 kg/m², CCC=0.92 and 0.92, respectively; and for individuals with BMI ≤30 kg/m², CCC=0.95 and 0.93, respectively.

Discussion

The present study determined the agreement among BFP predicted using SF predictive equations, mode-A US, BIA devices, and AI-2D photo compared to DXA in healthy subjects. The findings demonstrate a high accuracy level between BFP obtained using AI-2D photo and DXA in contrast to a disagreement of SF predictive equations, mode-A US, InBCA F-500, AVA 300, and Maltron BIA devices, in all participants, sex, age groups, and BMI classification.

BFP values obtained using Lean⁴² and Brozek³³ SF predictive equations were concordant with DXA values in young, healthy adult subjects. However, in elderly women, there was disagreement between the predictive equations by Durnin and Womersley^{43,44}, Petroski⁴⁴, and two equations by Baumgartner et al.⁴⁵ when compared to DXA values. In the present study, no concordance was observed between the BFP predictive equations and DXA values when considering all participants, sex, age group, and BMI classification. Several reasons can justify this result, including the development and validation of predictive equations in other ethnic groups, anthropometric measurements performed in obese individuals tend to show a higher deviation than those performed on individuals of adequate body weight^{12,46,47}.

A-mode US method might become a powerful technique of BC assessment as new hardware and software are being developed for this purpose¹⁴ and present good concordance with DXA but with significant bias compared to air displacement plethysmography and BIA⁴⁸. Miclos-Balica et al.⁴⁹ showed that A-

mode US is highly reliable for BFP estimate, however, it is more precise for men than women. Examiner performance is a factor that can introduce variability in the method and needs to be controlled to enhance its precision. SF predictive equations and A-mode US are dependent on the choice of the predictive equation to estimate FFM and, consequently, BFP, which depends on the population, age, measurement quality, and sex of the individuals¹³. In the present study, BFP values obtained using A-mode US disagreed with DXA results. Possibly due to the same reasons as SF, since A-mode US depends on predictive equations developed using anthropometric measurements.

BIA is a safe method that administers alternating current to estimate total body water⁵⁰. Most BIA FFM predictive equations were developed and validated using a single-frequency (50 kHz) device, with fat mass calculated by subtracting FFM from total weight. Excess fat mass can increase extracellular water⁵¹. Reliance on the assumption of constant hydration of the FFM may lead to an overestimation of FFM and, consequently, an underestimation of body fat in overweight or obese adults⁵². Therefore, the fluid imbalance is a factor that can explain differences in fat mass estimation using BIA compared to DXA.

In the present study, only InBody-270 and Omron HBF-514 devices demonstrated moderate concordance with DXA, overall participants, age groups, and BMI classification. The BIA devices use different technologies and algorithms to calculate the BC. The equations and mathematical models used to interpret the bioelectrical impedance data may vary, thereby influencing the results⁵³. Furthermore, non-concordance of other equipment can be explained by an artificially restricted range of output values programmed into these devices based on the manufacturer's desire to provide a normal BFP estimate to a consumer.

This may also indicate the use of an overly homogeneous reference population by the manufacturer when developing algorithms⁵⁴. Most manufacturers do not inform whether the fat mass result comes from a predictive equation or a subtraction calculation, limiting researchers' critical analysis.

Our results revealed a decrease in proportion bias in the BIA analysis considering all participants and stratifications of sex, age groups, and BMI classification. The data showed heteroscedasticity, except for the results obtained with the Omron HBF-514 and MaltronBF900 for men, Omron HBF-514 and InBCA F-500 for women, Omron HBF-514 and Maltron BF900 for individuals aged 30–39 and 40–49 years, and InBody-270 for individuals with BMI ≤ 30 kg/m². Proportional bias is an important parameter as it can have implications for whether people with specific characteristics, such as higher or lower amounts of FM or FFM, can be accurately assessed⁵⁵.

Although we found an underestimation of the BPF using the BIA devices, there was moderate agreement with the DXA based on BMI ranges (25–29.9 and ≥ 30 kg/m²), highlighting individuals with BMI of 25–29.9 kg/m² that showed higher CCC than those with BMI ≤ 24.9 kg/m². Our results are similar to those of Hurt et al.⁵⁶, who reported a greater agreement in BMI ranges of 25–29.9 kg/m² (CCC=0.94) and 30–34.9 kg/m² (CCC=0.94). Although the variation in the results could potentially be explained by the different algorithms used on each device to calculate the BFP, factors such as the number of electrodes, model, conductivity, and electrode disposition could also contribute to the differences in the results between the devices^{57,58}.

Multifrequency BIA devices have better precision than single-frequency devices when estimating total body water owing to their ability to penetrate

different tissues. The current path through the cells depended on the applied frequency. At low frequencies, current travels around cells in the intracellular space, whereas at middle frequencies, current continues to pass around cells but begins to act on the space within the cell membrane. At high frequencies, the current affects the space inside the cells⁵⁹. Consequently, multifrequency devices are considered more precise¹, and it has been noted that better precision could be observed in individuals with obesity⁵⁷. In our study, the InBody-270 (bifrequency model) and the Omron HBF-514 (single-frequency model) showed higher concordance values with the DXA compared with other multi-frequency and single-frequency methods, as well as lower concordance limits, MAE, MAPE, and MSE for all the participants, and for age and BMI (25–29 kg/m² and ≥30 kg/m²). Our findings suggest that the frequency of the device did not affect the agreement with the DXA. However, these results must be interpreted with caution as the devices showed moderate agreement.

In the present study, the AI-2D photo evaluation showed a lower bias and substantial agreement with the DXA in all participants stratified by sex, age groups, and BMI classification. Majmudar et al.¹⁸ reported similar results, wherein the visual BC estimated by 2D images achieved the lowest error in estimating the BFP compared with DXA. Beyond that, it showed greater general concordance with the DXA and lower concordance limits than with BIA and air displacement plethysmography. Nana et al.²⁹ estimates of the BFP used 2D digital images using smartphones and a foot-to-foot BIA device (TANITA BC-313), 2D imaging showed a higher concordance with the DXA data than BIA device in adult subjects. In the present study, a proportional bias was not observed for the AI-2D

photo in the analysis, except for patients with BMI ≥ 30 kg/m², which demonstrates that the data presented a homogeneous distribution.

Advances in optical technology have provided methods to evaluate BC using images to estimate BFP in a practical and fast manner, without the need for a trained professional in anthropometry or radiology to achieve reliable results¹⁸. The AI-2D photo showed high precision, concordance, and accuracy when automated machine learning was used to estimate the body FM in eutrophic and overweight adults¹¹. Thus, AI-2D photo is simple and requires minimal equipment, usually a mobile camera and an AI application. This makes the technique more accessible and easier to implement in environments where other more advanced techniques are not available, and compared with the DXA, the use of AI-2D photo is generally more cost-effective.

The BC estimated by the AI-2D photo could have some advantages, as this method is not influenced by factors such as hydration status, specific equations for the population studied, high-cost equipment, or trained professionals^{18,29,30}. The wide availability of smartphones suggests that the use of photos and suitable applications to evaluate BFP can play a significant role in quantifying adiposity levels in a more practical, economical, and precise manner. Although it is a promising method, the AI-2D photo do not currently provide details about the difference between visceral and subcutaneous adipose tissue and total body water or bone mineral content estimate. Furthermore, future research should explore the agreement between BFP estimates obtained using this technique for self-assessment with the assistance of a trained technician and in non-research environments.

The data in the literature analyze the agreement between methods with the raw BFP data and usually show an increase in the difference as the BMI increases¹⁷. In this study, we included the evaluation of the Bland–Altman plot as a percentage of difference, which is preferable for the variability of the proportional difference (constant coefficient of variation) and demonstrated how each method presented more errors in relation to DXA. Thus, the differences expressed as percentages of the values were more useful when the variability of the differences increased with the magnitude of the measurement⁶⁰. We analyzed our results as a percentage of the difference and observed that methods such as the SF based on Sloan, US based on Durnin and Rahaman, SF based on Jackson and Pollock1 3s, InBody-270, Omron HBF-514, Maltron BF-900, and AI-2D photo showed no difference in the magnitude of error between methods with an increase in BMI. These results suggest that evaluating the percentage difference is an additional model for evaluating the differences between BC methods and allows for complementary interpretations.

The limiting factors of the research include measurements that were performed only once (except for anthropometry and AI-2D photo, which were performed in duplicate). However, all assessments were performed in the same session. The strengths of the current study include a large and heterogeneous sample, which was always performed by the same anthropometrist. DXA was used as a clinical reference in BC, and the best assessment protocols were adopted.

Our results demonstrated that the AI-2D photo can be interchangeable with the DXA and is a practical alternative, which is accessible and has an easy-to-use system for estimating BFP. These findings make valuable contributions to

the implementation of modern BC analysis methods in clinical practice. Furthermore, the other methods did not provide the same results and showed poor agreement; therefore, the predictive equation, assessor training, calibration, and equipment used must be considered. Evaluating the agreement between BFP estimates using AI-2D photo for self-assessment, in non-research environments, and evaluation of specific populations, such as those who perform physical activity at different levels, menopausal women, and those with clinical conditions, is recommended for future studies.

Acknowledgment

The authors thank all the volunteers who participated in the research.

Support Sources: This work was supported by the Foundation Carlos Chagas Filho Research Support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ) process number: E-26/201.042/2021 and SEI260003/001172/2020; and by the Financial Agency of Studies and Projects (FINEP) process number: 0.1.18.0107.00 (PROINFRA).

Conflict of Interest and Funding Disclosure: The authors declare that they have no conflict of interest.

Author contributions

TJF and ICS: Conceptualization. Methodology. Validation. Formal analysis. Research. Writing – original draft. Writing – revision and editing. Visualization. CRP: Conceptualization. Statistical analysis. Research. Writing – original draft. Writing – revision and editing. Visualization. ADP: Validation. Formal analysis.

Writing – proofreading and editing. RRMS: Research. Writing – original draft. Writing – revision and editing. Visualization. MAH: Writing – original draft. Writing – revision and editing. Visualization. JCK: Writing – revision and editing. Visualization. DPC: Writing – revision and editing, Visualization and Acquisition of funding APTRP: Conceptualization. Methodology. Statistical analysis. Research. Writing – original draft. Writing – revision and editing. Supervision. Project administration. Acquisition of funding.

Authors Declarations

The authors declare that they have no conflict of interest.

Data Availability

Data described in the manuscript will be made available upon request to the corresponding author.

References

1. Holmes, C. J. & Racette, S. B. The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice: an overview of current methodology. *Nutrients* **13**, 2493 (2021).
2. Sedlmeier, A. M. *et al.* Relation of body fat mass and fat-free mass to total mortality: results from 7 prospective cohort studies. *Am J Clin Nutr* **113**, 639–646 (2021).
3. WHO. Obesity : preventing and managing the global epidemic : report of a WHO consultation. *World Health Organization* (1998).
4. Maffetone, P. B., Rivera-Dominguez, I. & Laursen, P. B. Overfat and Underfat: New Terms and Definitions Long Overdue. *Front Public Health* **4**, 3 (2016).

5. Marra, M. *et al.* Assessment of body composition in health and disease using bioelectrical impedance analysis (bia) and dual energy x-ray absorptiometry (dxa): A critical overview. *Contrast Media Mol Imaging* **2019**, 3548284 (2019).
6. Messina, C. *et al.* Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg* **10**, 1687 (2020).
7. Vasan, S. K. *et al.* Comparison of regional fat measurements by dual-energy X-ray absorptiometry and conventional anthropometry and their association with markers of diabetes and cardiovascular disease risk. *International Journal of Obesity* **42**, 850–857 (2018).
8. Kogure, G. S. *et al.* Concordance in prediction body fat percentage of Brazilian women in reproductive age between different methods of evaluation of skinfolds thickness. *Arch Endocrinol Metab* **64**, 257–268 (2020).
9. Blue, M. N. M., Tinsley, G. M., Ryan, E. D. & Smith-Ryan, A. E. Validity of Body-Composition Methods across Racial and Ethnic Populations. *Advances in Nutrition* **12**, 1854 (2021).
10. Antonio, J. *et al.* Comparison of Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) Versus a Multi-Frequency Bioelectrical Impedance (InBody 770) Device for Body Composition Assessment after a 4-Week Hypoenergetic Diet. *J Funct Morphol Kinesiol* **4**, 23 (2019).
11. Farina, G. L., Orlandi, C., Lukaski, H. & Nescolarde, L. Digital Single-Image Smartphone Assessment of Total Body Fat and Abdominal Fat Using Machine Learning. *Sensors (Basel)* **22**, 8365 (2022).
12. Kasper, A. M. *et al.* Come back skinfolds, all is forgiven: A narrative review of the efficacy of common body composition methods in applied sports practice. *Nutrients* **13**, 1075 (2021).
13. Kuriyan, R. Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research* **148**, 648–658 (2018).
14. Wagner, D. R. Ultrasound as a tool to assess body fat. *J Obes* **2013**, 280713 (2013).

15. Guedes, D. P. Procedimentos clínicos utilizados para análise da composição corporal. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano* **15**, 113–129 (2013).
16. Golja, P. *et al.* Direct Comparison of (Anthropometric) Methods for the Assessment of Body Composition. *Ann Nutr Metab* **76**, 183–192 (2020).
17. Achamrah, N. *et al.* Comparison of body composition assessment by DXA and BIA according to the body mass index: A retrospective study on 3655 measures. *PLoS One* **13**, e0200465 (2018).
18. Majmudar, M. D. *et al.* Smartphone camera based assessment of adiposity: a validation study. *NPJ Digit Med* **5**, 79 (2022).
19. Johnson, K. E. *et al.* A comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and A-mode ultrasound to assess body composition in college-age adults. *Clin Physiol Funct Imaging* **37**, 646–654 (2017).
20. Ferri-Morales, A. *et al.* Agreement Between Standard Body Composition Methods to Estimate Percentage of Body Fat in Young Male Athletes. *Pediatr Exerc Sci* **30**, 402–410 (2018).
21. Ravindranath, J., Pillai, P. P. S., Parameswaran, S., Kamalanathan, S. K. & Pal, G. K. Body Fat Analysis in Predialysis Chronic Kidney Disease: Multifrequency Bioimpedance Assay and Anthropometry Compared With Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *J Ren Nutr* **26**, 315–319 (2016).
22. Silveira, E. A., Barbosa, L. S., Rodrigues, A. P. S., Noll, M. & De Oliveira, C. Body fat percentage assessment by skinfold equation, bioimpedance and densitometry in older adults. *Archives of Public Health* **78**, (2020).
23. Bacchi, E., Cavedon, V., Zancanaro, C., Moghetti, P. & Milanese, C. Comparison between dual-energy X-ray absorptiometry and skinfold thickness in assessing body fat in overweigh/obese adult patients with type-2 diabetes. *Scientific Reports* **7**, 1–8 (2017).

24. Kang, S. *et al.* Validity of the Portable Ultrasound BodyMetrix™ BX-2000 for Measuring Body Fat Percentage. *Sustainability* **12**, 8786 (2020).
25. Johnson, K. E. *et al.* A comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and A-mode ultrasound to assess body composition in college-age adults. *Clin Physiol Funct Imaging* **37**, 646–654 (2017).
26. Gába, A., Kapuš, O., Cuberek, R. & Botek, M. Comparison of multi- and single-frequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in post-menopausal women: effects of body mass index and accelerometer-determined physical activity. *J Hum Nutr Diet* **28**, 390–400 (2015).
27. Campa, F. *et al.* Bioelectrical impedance analysis versus reference methods in the assessment of body composition in athletes. *Eur J Appl Physiol* **122**, 561–589 (2022).
28. Wells, J. C. K. & Fewtrell, M. S. Measuring body composition. *Arch Dis Child* **91**, 612–617 (2006).
29. Nana, A. *et al.* Agreement of anthropometric and body composition measures predicted from 2D smartphone images and body impedance scales with criterion methods. *Obes Res Clin Pract* **16**, 37–43 (2022).
30. Sullivan, K. *et al.* Agreement Between A 2-Dimensional Digital Image-Based 3-Compartment Body Composition Model and Dual Energy X-Ray Absorptiometry for The Estimation of Relative Adiposity. *Journal of Clinical Densitometry* **25**, 244–251 (2022).
31. Marfell-Jones, M., Olds, T., Stewart, A. & Crater, J. International standards for anthropometric assessment. *Potchefstroom, South Africa: International Society for the Advancement of Kinanthropometry - ISAK Preprint at* (2006).
32. Sloan, A. W. Estimation of body fat in young men. *J Appl Physiol* **23**, 311–315 (1967).

33. Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T. & Keys, A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* **110**, 113–140 (1963).
34. Durnin, J. V. G. A. & Rahaman, M. M. The assessment of the amount of fat in the human body from measurements of skinfold thickness. *Br J Nutr* **21**, 681–689 (1967).
35. Siri, W. E. Body Composition from Fluid Spaces and Density: Analyses of Methods; in: Techniques for Measuring Body Composition. *Nutrition* vol. 9 (Washington DC, Natl Acad. Sci. National Res. Council, 1961).
36. Jackson, A. S. & Pollock, M. L. Practical Assessment of Body Composition. *Phys Sportsmed* **13**, 76–90 (1985).
37. Alves, S. S. A. *et al.* Sex-based approach to estimate human body fat percentage from 2D camera images with deep learning and machine learning. *Measurement* **219**, 113213 (2023).
38. Crabtree, N. J. *et al.* Dual-energy X-ray absorptiometry interpretation and reporting in children and adolescents: the revised 2013 ISCD Pediatric Official Positions. *J Clin Densitom* **17**, 225–242 (2014).
39. Bland, J. M. & Altman, D. G. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* **8**, 135–160 (1999).
40. Lin, L. I. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* **45**, 255–268 (1989).
41. McBride, G. B. *A Proposal for Strength-of-Agreement Criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient.* (New Zealand, 2005).
42. Lean, M. E. J., Han, T. S. & Deurenberg, P. Predicting body composition by densitometry from simple anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr* **63**, 4–14 (1996).
43. Durnin, J. V. G. A. & Womersley, J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years. *British Journal of Nutrition* **32**, 77–97 (1974).

44. Petroski, E. Desenvolvimento e validação de equações generalizadas para a estimativa da densidade corporal em adultos. (Universidade Federal de Santa Maria, 1995).
45. Baumgartner, R. N., Heymsfield, S. B., Lichtman, S., Wang, J. & Pierson, R. N. Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr* **53**, 1345–1353 (1991).
46. Bernhard, A. B., Santo, M. A., Scabim, V. M., Serafim, M. P. & Cleva, R. De. Body Composition Evaluation in Severe Obesity : A Critical Review. *Adv Obes Weight Manag Control* **4**, 00113 (2016).
47. Hume, P. & Marfell-Jones, M. The importance of accurate site location for skinfold measurement. *J Sports Sci* **26**, 1333–1340 (2008).
48. Pineau, J. C., Guihard-Costa, A. M. & Bocquet, M. Validation of ultrasound techniques applied to body fat measurement. A comparison between ultrasound techniques, air displacement plethysmography and bioelectrical impedance vs. dual-energy X-ray absorptiometry. *Ann Nutr Metab* **51**, 421–427 (2007).
49. Miclos-Balica, M. *et al.* Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. *European Journal of Clinical Nutrition* **2020 75:3 75**, 438–445 (2020).
50. Lukaski, H. C., Vega Diaz, N., Talluri, A. & Nescolarde, L. Classification of Hydration in Clinical Conditions: Indirect and Direct Approaches Using Bioimpedance. *Nutrients* **11**, (2019).
51. Waki, M. *et al.* Relative expansion of extracellular fluid in obese vs. nonobese women. *Am J Physiol* **261**, (1991).
52. Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J. & Van Itallie, T. B. Estimation of human body composition by electrical impedance methods: a comparative study. *J Appl Physiol* (1985) **58**, 1565–1571 (1985).
53. Kyle, U. G. *et al.* Bioelectrical impedance analysis--part I: review of principles and methods. *Clin Nutr* **23**, 1226–1243 (2004).

54. Siedler, M. R. *et al.* Assessing the reliability and cross-sectional and longitudinal validity of fifteen bioelectrical impedance analysis devices. *Br J Nutr* **130**, 827 (2023).
55. McLester, C. N., Nickerson, B. S., Kliszczewicz, B. M. & McLester, J. R. Reliability and Agreement of Various InBody Body Composition Analyzers as Compared to Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Healthy Men and Women. *Journal of Clinical Densitometry* **23**, 443–450 (2020).
56. Hurt, R. T. *et al.* The Comparison of Segmental Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis and Dual-Energy X-ray Absorptiometry for Estimating Fat Free Mass and Percentage Body Fat in an Ambulatory Population. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* **45**, 1231–1238 (2021).
57. Kyle, U. G. *et al.* Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* **23**, 1430–1453 (2004).
58. Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., Gobbo, L. A. & Coratella, G. Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients* **13**, 1620 (2021).
59. Abasi, S., Aggas, J. R., Garayar-Leyva, G. G., Walther, B. K. & Guiseppi-Elie, A. Bioelectrical Impedance Spectroscopy for Monitoring Mammalian Cells and Tissues under Different Frequency Domains: A Review. *ACS Measurement Science Au* **2**, 495 (2022).
60. Giavarina, D. Understanding Bland Altman analysis. *Biochem Med (Zagreb)* **25**, 141 (2015).

Table 1. General characteristics, anthropometric measurements, body mass index classification, and body fat percentage for all and according to sex.

Variables	All	Men	Women
N (%)	1273 (100)	578 (45.4)	695 (54.6)
Age, Years			
18–29	528 (41.5)	259 (49.1)	269 (50.9)
30–39	345 (27.1)	171 (49.6)	174 (50.4)
40–49	176 (13.8)	67 (38.1)	109 (61.9)
50–65	224 (17.6)	81 (36.2)	143 (63.8)
Weight, kg	74.25 ± 16.81	83.20 ± 15.05	66.81 ± 14.40
Height, cm	168.29 ± 9.25	175.62 ± 6.60	162.19 ± 6.21
BMI, kg/m ²			
≤ 24.9	606 (47.6)	215 (35.5)	391 (64.5)
DXA, BFP	28.27 ± 8.10	20.51 ± 5.46	32.54 ± 5.83
25–29.9	440 (34.6)	247 (56.1)	193 (43.9)
DXA, BFP	32.12 ± 8.97	26.06 ± 6.47	39.87 ± 4.78
≥30	227 (17.8)	116 (51.1)	111 (48.9)
DXA, BFP	40.59 ± 8.66	34.09 ± 6.39	47.39 ± 4.49

BFP: body fat percentage, BMI: body mass index, DXA: dual-energy X-ray absorptiometry. Data are described as mean ± standard deviation and percentage.

Table 2. Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US, AI-2D photo, and DXA data as the reference method, considering all participants and stratified by sex.

Method	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
All							
InBody-270	1273	-11.69	<0.0001	3.40 ± 2.2	11.93 ± 9.1	16.48 ± 19.5	0.92
InBCA F-500	1264	-7.23	<0.0001	4.87 ± 3.5	17.20 ± 16.7	35.63 ± 48.6	0.78
Omron HBF-514	1268	-3.79	<0.0001	3.19 ± 2.5	11.38 ± 10.7	16.56 ± 25.8	0.91
AVA-030	1196	-23.96	<0.0001	7.76 ± 4.3	24.31 ± 12.3	78.95 ± 75.6	0.51
Maltron BF900	1069	-8.64	0.106	4.56 ± 3.5	15.76 ± 14.2	33.21 ± 50.3	0.82
AI-2D photo	1272	-1.24	0.273	1.56 ± 1.3	5.01 ± 3.8	4.02 ± 5.9	0.98
Men							
SF Sloan	386	-23.93	<0.0001	5.78 ± 3.8	23.30 ± 13.8	47.57 ± 62.3	0.73
SF Durnin and Rahaman	386	-5.19	0.012	3.73 ± 2.9	14.89 ± 11.3	22.15 ± 31.2	0.81
US Sloan	476	-18.60	<0.0001	5.08 ± 3.6	20.97 ± 14.7	38.43 ± 50.6	0.75
US Durnin and Rahaman	471	-3.89	<0.0001	3.94 ± 3.2	16.07 ± 16.5	25.49 ± 38.5	0.78
InBody-270	578	-15.13	<0.0001	3.55 ± 2.4	14.94 ± 10.6	18.16 ± 22.0	0.87
InBCA F-500	461	-4.64	<0.0001	4.74 ± 3.6	21.03 ± 21.1	35.19 ± 53.8	0.63
Omron HBF-514	574	-7.00	0.229	3.44 ± 2.6	14.44 ± 12.3	18.62 ± 25.8	0.83
AVA-030	575	-22.53	<0.0001	6.98 ± 4.5	26.14 ± 14.2	69.18 ± 104.8	0.41
Maltron BF900	481	-2.87	0.105	3.91 ± 3.3	17.44 ± 17.3	26.22 ± 57.9	0.79
AI-2D photo	578	-2.03	0.359	1.38 ± 1.1	5.44 ± 4.2	3.20 ± 4.9	0.98
Women							
SF Jackson and Pollock1 3S	494	-18.11	0.112	6.26 ± 3.4	16.61 ± 8.2	51.02 ± 51.4	0.63
SF Jackson and Pollock2 3S	589	-17.97	<0.0001	6.05 ± 3.4	16.39 ± 8.8	47.85 ± 48.8	0.67
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	589	-18.54	<0.0001	6.16 ± 3.2	16.77 ± 8.4	48.15 ± 47.5	0.68
US Jackson and Pollock1 3S	486	-18.51	<0.0001	6.96 ± 4.2	18.03 ± 9.5	66.07 ± 75.6	0.50
US Jackson and Pollock2 3S	586	-20.53	<0.0001	7.25 ± 4.4	19.70 ± 11.6	71.73 ± 77.6	0.55
US Jackson, Pollock, Ward 4S	586	-23.82	0.320	8.11 ± 4.2	21.46 ± 10.0	83.57 ± 82.5	0.49
InBody-270	695	-8.83	<0.0001	3.24 ± 2.1	9.30 ± 6.7	14.91 ± 17.2	0.89
InBCA F-500	692	-9.36	0.276	4.92 ± 3.4	13.90 ± 11.1	35.43 ± 42.6	0.69
Omron HBF-514	694	-1.13	0.127	2.94 ± 2.4	8.75 ± 8.8	14.44 ± 23.2	0.88
AVA-030	621	-25.28	<0.0001	13.31 ± 13.7	23.75 ± 11.5	363.82 ± 763.0	0.30
Maltron BF900	588	-13.37	<0.0001	5.30 ± 4.4	14.74 ± 11.8	47.42 ± 127.7	0.73

AI-2D photo	694	-0.58	0.133	1.72 ± 1.3	4.66 ± 3.5	4.74 ± 6.5	0.96
-------------	-----	-------	--------------	------------	------------	------------	------

Data are expressed as mean ± standard deviation. AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo,

CCC: Concordance correlation coefficient, MAE: Mean Absolute Error, MAPE: Mean Absolute Percentage

Error, MSE: Mean Squared Error, S: Sites, SF: Skinfolds; US: Ultrasound.

* p-value of the proportional bias of the Bland-Altman linear regression analysis. A statistically significant model coefficient indicates the presence of proportional bias between devices ($p < 0.05$).

Table 3. Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering age groups.

	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
18–29 years							
SF Sloan	214	-25.47	<0.0001	2.57±3.5	9.58±14.2	17.05±37.3	0.73
SF Durnin and Rahaman	214	-15.52	<0.0001	2.03±3.0	6.94±10.6	11.44±27.1	0.73
SF Jackson and Pollock1 3S	219	-20.03	0.212	3.22±3.9	7.44±10.3	20.92±39.3	0.62
SF Jackson and Pollock2 3S	219	-21.33	<0.0001	3.30±4.0	7.86±11.1	22.44±42.6	0.63
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	219	-21.02	<0.0001	3.25±3.8	7.74±10.7	20.84±37.9	0.66
US Sloan	210	-20.32	<0.0001	2.30±3.4	8.66±14.3	17.90±50.8	0.78
US Durnin and Rahaman	206	-1.20	<0.0001	1.77±3.1	6.72±14.8	12.57±49.6	0.79
US Jackson and Pollock1 3S	220	-19.77	0.0008	3.56±4.6	7.90±11.2	33.07±62.6	0.41
US Jackson and Pollock2 3S	220	-26.90	0.0008	4.35±5.3	9.99±14.0	45.71±74.4	0.47
US Jackson, Pollock and Ward 4S	220	-27.50	0.894	4.45±5.3	10.05 13.5	46.84±75.2	0.44
InBody-270	528	-14.13	<0.0001	3.64±2.2	13.73±9.7	18.16±19.7	0.91
InBCA F-500	526	-9.23	<0.0001	5.55±4.4	20.61±18.9	50.31±124.8	0.71
Omron HBF-514	526	-4.94	0.045	3.50±2.7	13.35±12.4	19.56±28.8	0.89
AVA-030	515	-24.79	<0.0001	8.67±7.7	27.46±16.8	133.6±372.8	0.48
Maltron BF900	431	-14.58	0.012	5.73±4.3	19.82±14.9	201.89±400.1	0.72
AI-2D photo	527	-1.78	0.590	1.51±1.2	5.24±3.8	3.68±5.3	0.98
	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE	MSE	CCC
30–39 years							
SF Sloan	145	-21.87	<0.0001	2.31±3.5	9.61 ± 14.4	17.76±39.7	0.75
SF Durnin and Rahaman	145	-1.92	<0.0001	1.32±2.3	5.35 ± 9.7	7.23±19.5	0.79
SF Jackson and Pollock1 3S	149	-17.18	0.666	2.58±3.7	7.00±9.7	20.54±41.6	0.67
SF Jackson and Pollock2 3S	149	-16.37	0.035	2.36±3.3	6.56±9.0	16.42±30.2	0.75
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	149	-17.43	0.001	2.46±3.4	6.90±9.4	17.62±33.5	0.74
US Sloan	138	-13.51	<0.0001	6.89±11.6	6.34±14.7	182.45±441.6	0.79
US Durnin and Rahaman	137	-0.64	<0.0001	6.63±11.7	5.95±16.0	180.52±441.6	0.70
US Jackson and Pollock1 3S	148	-16.22	0.001	7.78±4.3	6.23±10.1	193.91±438.8	0.59
US Jackson and Pollock2 3S	148	18.99	0.006	7.98±11.6	6.99±11.5	197.26±438.2	0.62
US Jackson, Pollock and Ward 4S	148	-21.73	0.551	8.23±11.5	7.39±11.4	199.90±437.1	0.58
InBody-270	345	-12.08	<0.0001	3.30 ± 2.2	12.14±9.8	15.93±20.0	0.92
InBCA F-500	339	-4.27	0.0003	5.15±5.1	18.85±21.2	52.85±172.1	0.79
Omron HBF-514	342	-1.95	0.050	3.21±2.6	12.44±14.1	16.86±26.1	0.91
AVA-030	325	-21.06	<0.0001	9.61±10.6	27.77±21.8	199.16±561.9	0.52
Maltron BF900	290	-5.26	0.093	8.56±10.8	12.13±15.7	190.26±433.0	0.84
AI-2D photo	345	-0.75	0.953	1.45±1.2	4.87±4.0	3.59±5.6	0.98

	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
40–49 years							
SF Sloan	60	-18.22	<0.0001	1.78±3.3	6.43±12.0	14.14±39.0	0.77
SF Durnin and Rahaman	60	5.55	<0.0001	1.00±1.9	3.98±8.8	4.76±13.4	0.85
SF Jackson and Pollock1 3S	95	-16.45	0.368	3.30±4.0	8.43±9.9	26.85±44.4	0.57
SF Jackson and Pollock2 3S	95	-14.24	0.190	2.92±3.7	7.46±9.3	22.18±40.9	0.64
SF Jackson, Pollock, and Ward 4S	95	-15.69	0.036	3.13±3.8	8.09±9.4	23.85±41.0	0.63
US Sloan	60	-14.36	0.027	6.17±11.7	2.63±7.2	174.10±468.6	0.71
US Durnin and Rahaman	60	-10.78	<0.0001	6.05±11.7	2.91±7.2	172.54±468.9	0.62
US Jackson and Pollock1 3S	93	-17.53	0.003	8.17±11.4	4.81±9.5	196.53±464.1	0.36
US Jackson and Pollock2 3S	93	-15.46	0.966	7.86±11.4	4.78±9.7	191.60±464.8	0.47
US Jackson, Pollock, and Ward 4S	93	-21.08	0.263	8.61±11.4	5.49±10.4	202.73±462.9	0.37
InBody-270	176	-9.65	<0.0001	3.29±2.2	9.98±7.4	15.87±18.7	0.90
InBCA F-500	175	-7.36	0.004	4.70±3.5	14.61±13.9	34.44±60.3	0.76
Omron HBF-514	176	-2.28	0.592	2.83±2.1	9.01±8.5	12.23±18.0	0.92
AVA-030	160	-25.39	<0.0001	11.83±12.2	30.70±24.1	288.45±663.9	0.43
Maltron BF900	155	-5.00	0.041	7.42±10.8	6.68±13.9	170.66±454.0	0.81
AI-2D photo	176	-0.70	0.152	1.71±1.4	4.90±3.9	4.88±6.9	0.97
	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE	MSE	CCC
50–65 years							
SF Sloan	69	-28.45	<0.0001	2.31±4.4	8.33±15.4	24.98 ± 67.6	0.62
SF Durnin and Rahaman	69	10.68	0.0009	1.18±2.2	4.71±10.0	6.42 ± 16.6	0.81
SF Jackson and Pollock1 3S	102	-16.52	0.602	3.77±4.3	9.06±10.1	32.95 ± 52.2	0.48
SF Jackson and Pollock2 3S	126	-16.84	0.010	3.65±4.2	8.89±10.3	31.06 ± 49.5	0.54
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	126	-17.70	0.002	3.78±4.3	9.24±10.6	33.07 ± 52.8	0.53
US Sloan	68	-27.39	0.051	7.15±12.6	4.24±10.8	207.96 ± 513.6	0.51
US Durnin and Rahaman	68	-12.47	<0.0001	6.53±12.5	3.46±8.7	197.90 ± 515.1	0.54
US Jackson and Pollock1 3S	125	-19.73	0.0005	9.27±12.1	6.79±10.3	230.82 ± 508.0	0.31
US Jackson and Pollock2 3S	125	-14.93	0.798	8.49±12.2	5.62±9.4	219.98 ± 510.5	0.43
US Jackson, Pollock, Ward 4S	125	-21.87	0.598	9.54±12.1	7.18±10.9	236.05 ± 507.4	0.33
InBody-270	224	-6.94	<0.0001	3.05±2.1	8.89±6.8	13.85 ± 18.8	0.92
InBCA F-500	224	-6.90	0.0002	4.13±2.8	8.88±8.2	25.03 ± 29.4	0.83
Omron HBF-514	224	-5.07	<0.0001	2.95±2.5	8.88±8.2	14.98 ± 27.5	0.92
AVA-030	196	-25.41	<0.0001	13.45±13.7	23.64±9.2	366.52 ± 743.5	0.45
Maltron BF900	193	-3.40	<0.0001	7.78±11.9	5.35 ±7.1	202.62 ± 522.6	0.89
AI-2D photo	224	-1.16	0.177	1.73±1.4	4.75 ± 3.6	4.84 ± 6.4	0.97

AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, CCC: Concordance correlation coefficient, MAE:

Mean Absolute Error, MAPE: Mean Absolute Percentage Error, MSE: Mean Squared Error, S: Sites, SF: Skinfolds; US: Ultrasound.

* p-value of the proportional bias of the Bland-Altman linear regression analysis. A statistically significant model coefficient indicates the presence of proportional bias between devices ($p < 0.05$).

Table 4. Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering BMI classification.

	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
BMI ≤24.9 kg/m²							
SF Sloan	183	-33.33	0.0002	2.06±3.3	9.64±15.4	14.64±33.3	0.50
SF Durnin and Rahaman	183	-7.20	0.608	1.19 ±2.2	5.61±10.5	5.87±15.3	0.70
SF Jackson and Pollock1 3S	330	-18.11	0.132	3.88 ±3.7	11.27±11.3	27.71±40.1	0.54
SF Jackson and Pollock2 3S	330	-20.35	0.0007	4.00 ± 3.9	11.72±11.3	29.89±44.0	0.53
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	330	-18.54	<0.0001	4.08 ± 3.7	12.03±11.1	29.71± 41.1	0.54
US Sloan	176	-28.85	<0.0001	1.93 ±3.4	9.25 ±15.8	14.28±48.0	0.56
US Durnin and Rahaman	172	1.85	0.029	1.10±2.4	5.75±13.7	6.83±42.6	0.76
US Jackson and Pollock1 3S	328	-17.15	0.011	4.02±4.2	11.53±11.9	32.40±54.4	0.40
US Jackson and Pollock2 3S	328	-24.24	0.0005	5.10±5.0	14.92±14.7	49.37±72.1	0.33
US Jackson, Pollock and Ward 4S	328	-25.52	0.480	5.23±4.9	15.05±13.8	49.24±68.1	0.32
InBody-270	606	-16.45	<0.0001	4.00 ± 2.2	15.14±9.8	20.98±20.8	0.85
InBCA F-500	605	-11.42	<0.0001	5.32 ± 3.5	19.77±15.1	40.47±47.5	0.66
Omron HBF-514	602	-7.33	0.0006	3.53 ± 2.7	14.22±13.7	19.55±27.5	0.84
AVA-030	605	-25.02	<0.0001	7.43 ±4.2	25.37±12.5	73.04±68.4	0.48
Maltron BF900	508	-16.55	0.0001	5.79 ±3.9	20.51±13.9	48.63±68.2	0.64
AI-2D photo	605	-1.64	0.117	1.61 ±1.2	5.75±4.2	4.07±5.6	0.97
	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
BMI 25–29.9 kg/m²							
SF Sloan	203	-23.84	<0.0001	3.03±4.0	20.99±13.1	24.81±50.2	0.56
SF Durnin and Rahaman	203	-2.82	<0.0001	2.06±2.8	14.64±11.7	12.16±25.2	0.66
SF Jackson and Pollock1 3S	164	-16.01	0.949	2.66±3.8	14.49±8.3	21.62±42.8	0.33
SF Jackson and Pollock2 3S	164	-15.24	0.313	2.55±3.7	13.99±8.0	19.82±39.1	0.38
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	164	-15.96	0.084	2.60±3.7	14.31±7.9	20.31±39.9	0.37
US Sloan	199	-12.32	0.027	2.39±3.3	17.04±13.3	16.40±37.1	0.58
US Durnin and Rahaman	198	-2.29	<0.0001	2.07±2.9	16.04±20.2	12.96±31.0	0.65
US Jackson and Pollock1 3S	158	-17.69	<0.0001	3.10±4.3	16.72±8.2	27.87±51.4	0.20

US Jackson and Pollock2 3S	158	-15.17	0.844	2.92±4.3	15.96±9.6	26.61±55.1	0.22
US Jackson, Pollock and Ward 4S	158	-20.66	0.050	3.47±4.8	18.77±9.3	34.51±63.4	0.18
InBody-270	440	-9.53	<0.0001	3.00±2.1	9.95±7.5	13.27±17.0	0.92
InBCA F-500	437	-2.00	<0.0001	4.49±3.5	16.51±20.5	32.28±56.0	0.74
Omron HBF-514	440	-0.83	0.013	2.91±2.3	10.32±10.6	13.82±22.0	0.92
AVA-030	439	-21.71	<0.0001	7.88±4.3	23.98±12.7	80.32±75.7	0.49
Maltron BF900	361	-1.91	<0.0001	3.87±3.2	13.53±14.6	24.96±49.0	0.79
AI-2D photo	440	-1.43	0.475	1.43 ±1.2	4.51±3.6	3.48 ±5.2	0.98
	N	Bias, %	P-value*	MAE	MAPE, %	MSE	CCC
BMI ≥ 30 kg/m²							
SF Sloan	102	-7.23	<0.0001	2.84±4.0	8.09±11.1	23.96±66.6	0.64
SF Durnin and Rahaman	102	-6.29	0.024	2.18±3.0	6.16±8.5	13.91±26.9	0.59
SF Jackson and Pollock1 3S	95	-18.64	0.135	3.75±4.7	7.70±9.3	35.84±54.4	0.17
SF Jackson and Pollock2 3S	95	-14.42	0.100	3.11±4.1	6.45±8.4	26.10±46.1	0.33
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	95	-14.55	0.041	3.06±3.9	6.37±8.1	24.82±42.6	0.32
US Sloan	101	-13.13	0.004	2.85±4.0	8.06±11.1	24.82±42.6	0.54
US Durnin and Rahaman	101	-16.78	<0.0001	3.46±4.2	9.41±10.7	29.11±44.8	0.38
US Jackson and Pollock1 3S	100	-24.27	0.074	5.01±6.3	10.24±12.5	64.78±108.8	0.07
US Jackson and Pollock2 3S	100	-16.81	0.760	3.64±5.3	7.35±10.4	40.96±82.1	0.12
US Jackson, Pollock, Ward 4S	100	-23.25	0.578	4.74±6.2	9.68±12.3	60.98±109.5	0.10
InBody-270	227	-3.19	0.0004	2.14±1.6	5.45±4.4	7.23±11.0	0.95
InBCA F-500	222	-6.10	<0.0001	4.52±3.2	10.99±7.5	30.42±36.8	0.76
Omron HBF-514	226	-0.12	0.881	2.58±2.1	6.58±5.4	10.86±15.9	0.93
AVA-030	152	-26.22	<0.0001	10.93±8.4	52.94±37.2	187.33±425.4	0.31
Maltron BF900	200	-0.70	<0.0001	2.85±2.4	7.37±6.8	14.02±28.2	0.88
AI-2D photo	227	0.18	0.034	1.70±1.5	4.19 ±3.5	5.07±7.4	0.97

AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, BMI: body mass index, CCC: Concordance correlation coefficient, MAE: Mean Absolute Error, MAPE: Mean Absolute Percentage Error, MSE: Mean Squared Error, S: Sites, SF: Skinfolds; US: Ultrasound.

* p-value of the proportional bias of the Bland-Altman linear regression analysis. A statistically significant model coefficient indicates the presence of proportional bias between devices (p<0.05).

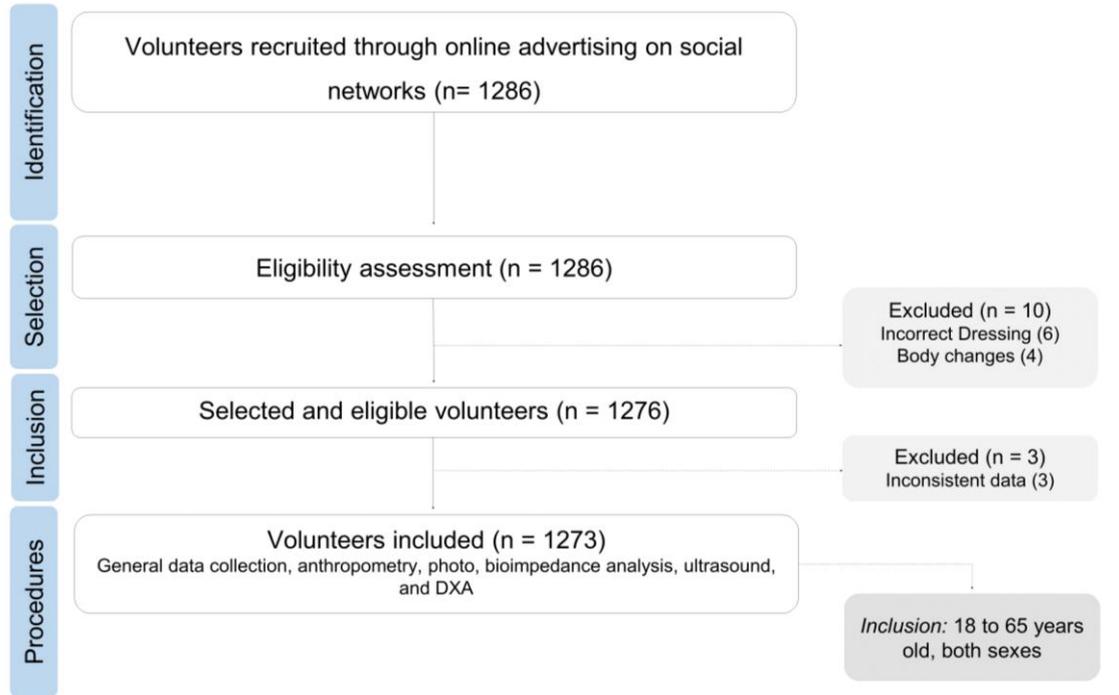


Figure 1. Study sampling flowchart.

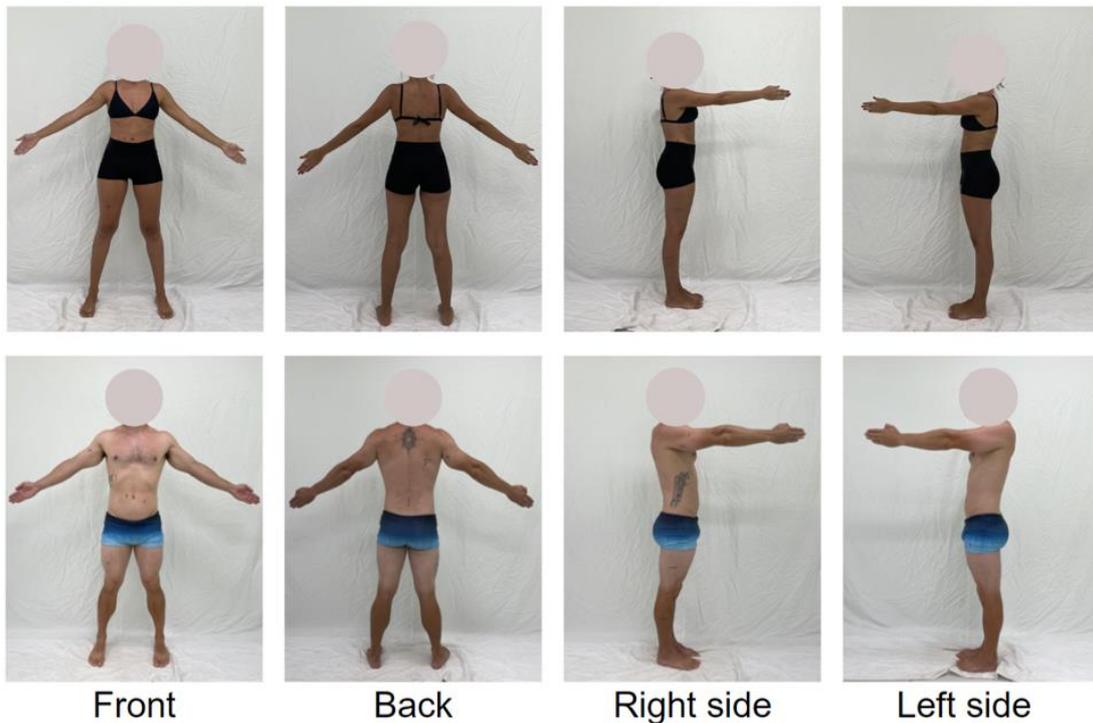
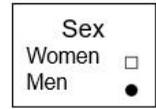
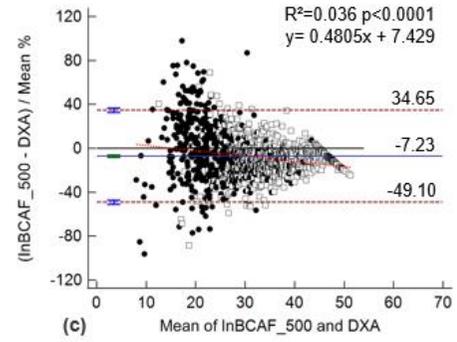
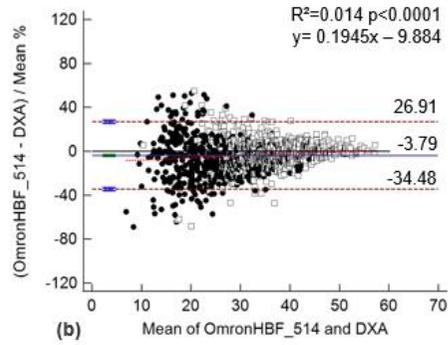
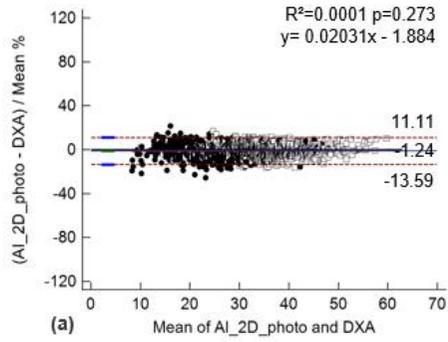
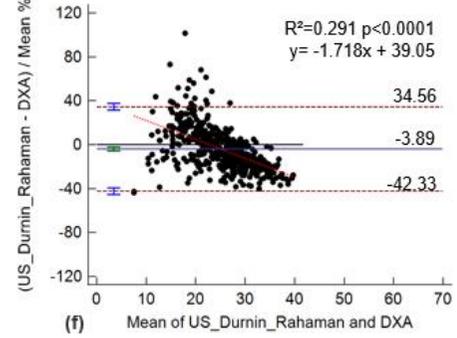
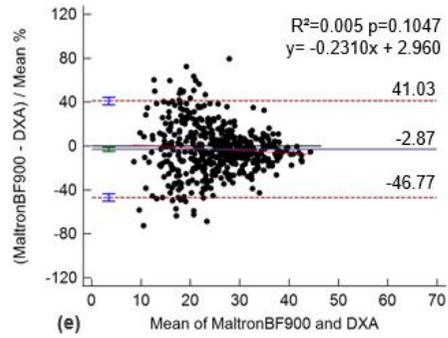
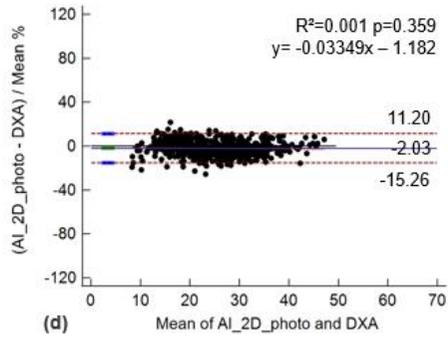


Figure 2. Photo protocol, positions and vestments used in this study.

All



Men



Women

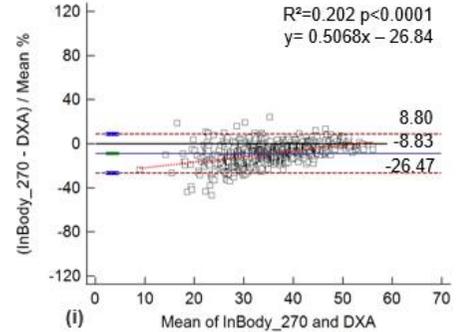
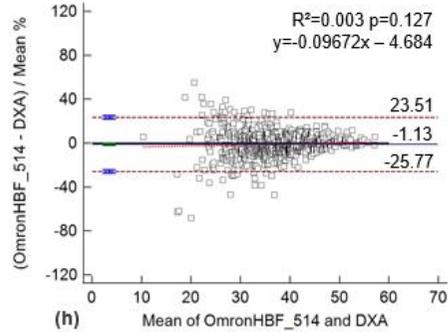
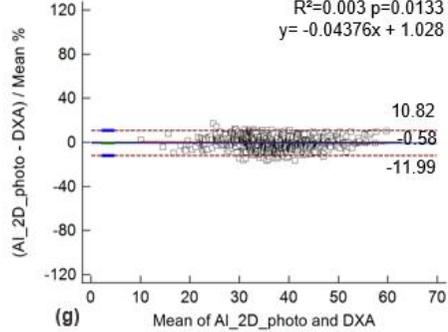
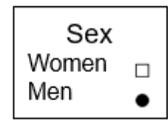
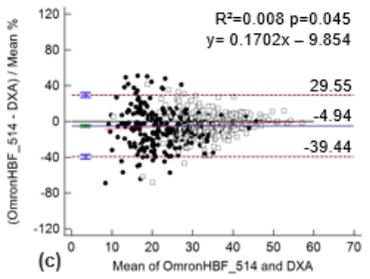
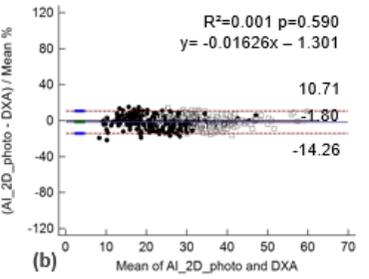
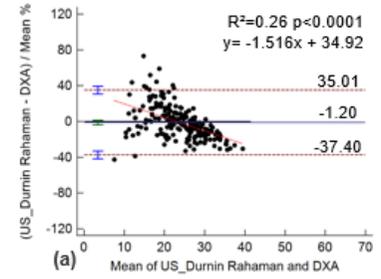
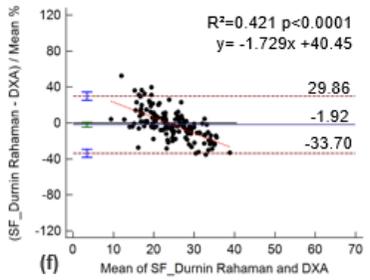
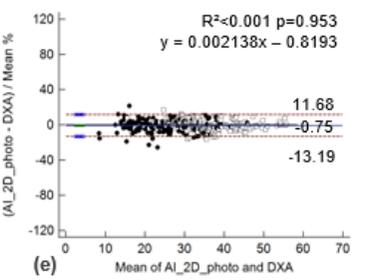
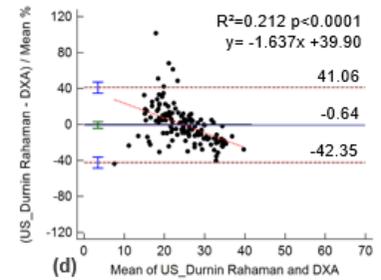


Figure 3. Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in all participants, men, and women. All: (a) AI-2D photo, (b) Omron HBF-514, (c) InBCA F-500. Men: (d) AI-2D photo, (e) MaltronBF900, (f) US Durnin and Rahaman. Women: (g) AI-2D photo, (h) Omron HBF-514, and (i) InBody-270. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown is ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

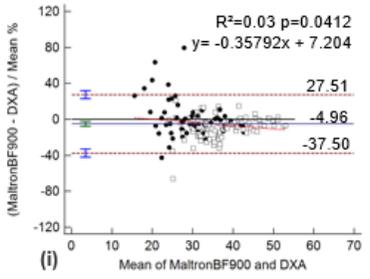
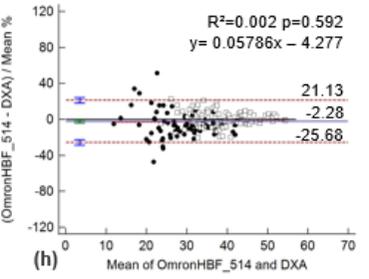
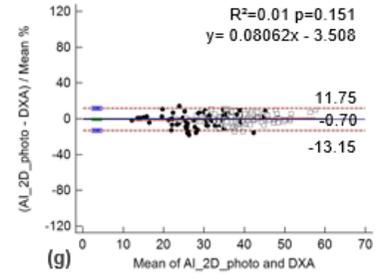
Age 18-29



Age 30-39



Age 40-49



Age 50-65

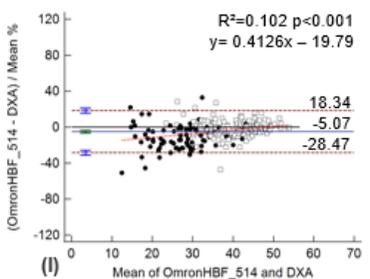
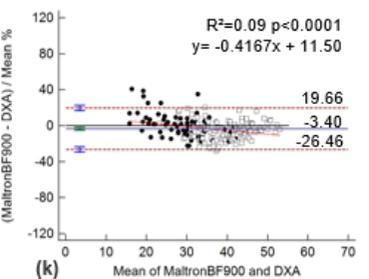
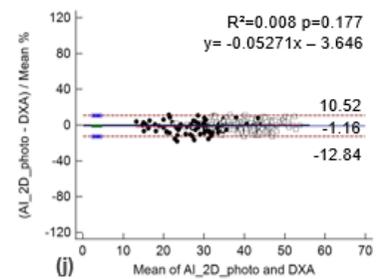
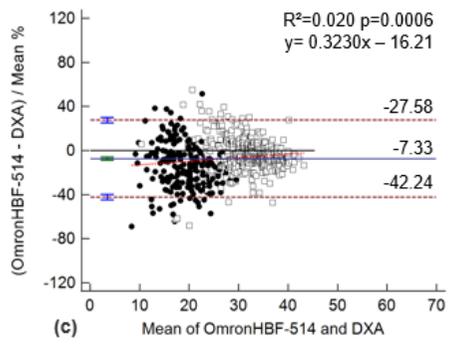
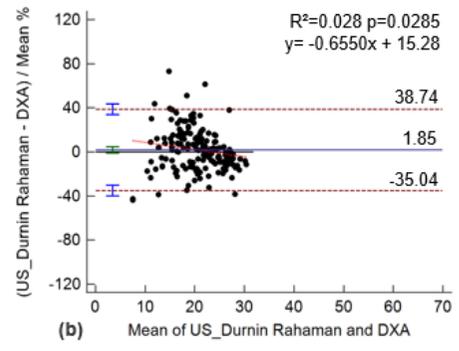
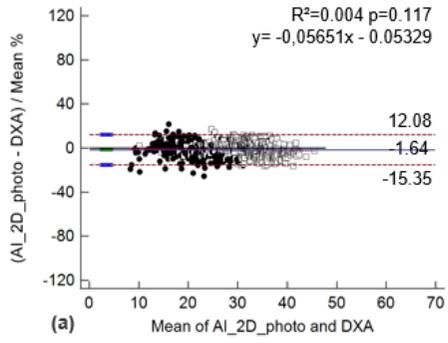


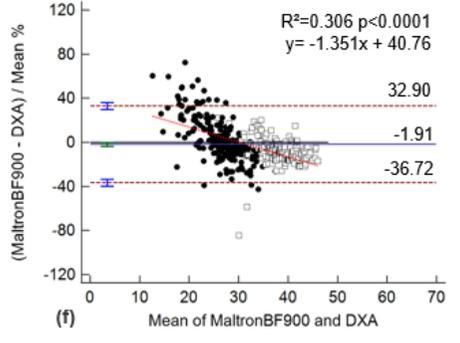
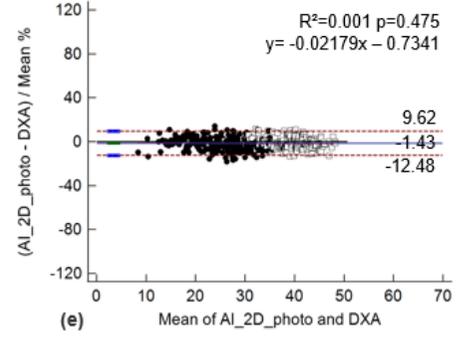
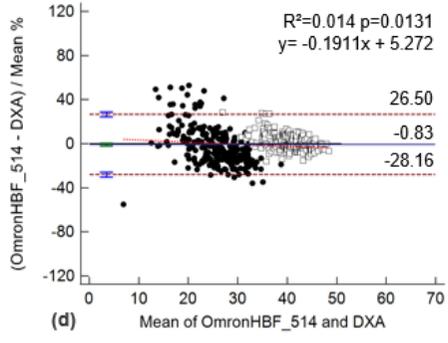
Figure 4. Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in the age range. Age 18-29: (a) US Durnin and Rahaman, (b) AI-2D photo, (c) Omron HBF-514. Age 30-39: (d) US Durnin and Rahaman, (e) AI-2D photo, (f) SF Durnin and Rahaman. Age 40-49: (g) AI-2D photo, (h) Omron HBF-514, (i) MaltronBF900. Age 50-65: (j) AI-2D photo, (k) MaltronBF900, (l) Omron HBF-514. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown is ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

**BMI
≤ 24.9 kg/m²**



Sex
Women □
Men ●

**BMI
25–29.9 kg/m²**



**BMI
≥ 30 kg/m²**

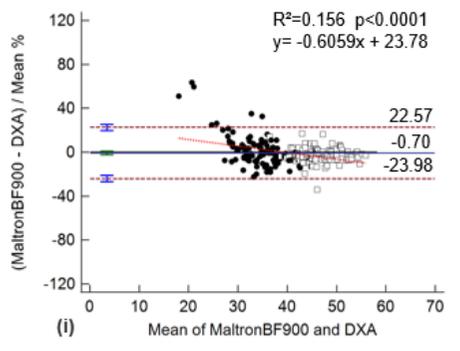
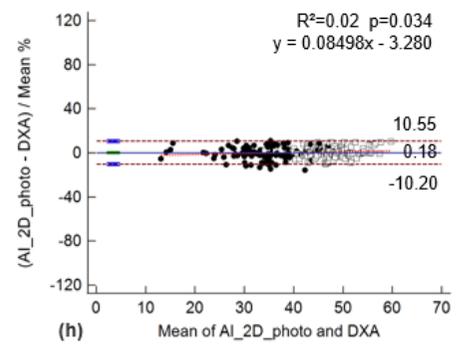
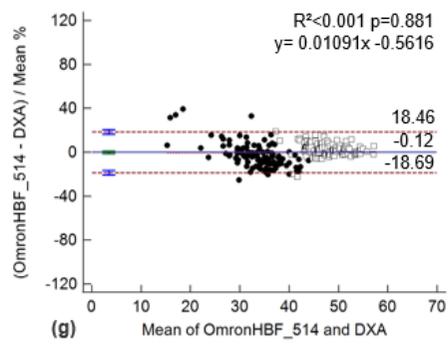


Figure 5. Bland-Altman analyses of the percentage of the difference of portable BC devices compared to DXA for the estimation of BFP in the BMI range. BMI ≤ 24.9 kg/m²: (a) AI-2D photo, (b) US Durnin and Rahaman, (c) Omron HBF-514. BMI 25–29.9 kg/m²: (d) Omron HBF-514, (e) AI-2D photo (f) MaltronBF900. BMI ≥ 30 kg/m²: (g) Omron HBF-514, (h) AI-2D photo, (i) MaltronBF900. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown is ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

BC methods	Sex			Age (years)				BMI (kg/m ²)		
	All	Men	Woman	18–29	30–39	40–49	50–65	≤24.9	25–29.9	≥30
SF Sloan	-	0.73	-	0.73	0.75	0.77	0.62	0.50	0.56	0.64
SF Durnin, Rahaman	-	0.81	-	0.73	0.79	0.85	0.81	0.70	0.66	0.59
SF Jackson and Pollock1 3S	-	-	0.63	0.62	0.67	0.57	0.48	0.54	0.33	0.17
SF Jackson and Pollock2 3S	-	-	0.67	0.63	0.75	0.64	0.54	0.53	0.38	0.32
SF Jackson, Pollock and Ward 4S	-	-	0.68	0.66	0.74	0.63	0.53	0.54	0.37	0.33
US Sloan	-	0.75	-	0.78	0.79	0.71	0.51	0.56	0.58	0.54
US Durnin, Rahaman	-	0.78	-	0.79	0.70	0.62	0.54	0.76	0.65	0.38
US Jackson and Pollock1 3S	-	-	0.50	0.41	0.59	0.36	0.31	0.40	0.20	0.07
US Jackson and Pollock2 3S	-	-	0.55	0.47	0.62	0.47	0.43	0.33	0.22	0.12
US Jackson, Pollock and Ward 4S	-	-	0.49	0.44	0.58	0.37	0.33	0.32	0.18	0.10
InBody-270	0.92	0.87	0.89	0.91	0.92	0.90	0.92	0.85	0.92	0.95
InBCA F-500	0.78	0.63	0.69	0.71	0.79	0.76	0.83	0.66	0.74	0.76
Omron HBF-514	0.91	0.83	0.88	0.89	0.91	0.92	0.92	0.84	0.92	0.93
AVA-030	0.51	0.41	0.30	0.48	0.52	0.43	0.45	0.48	0.49	0.31
Maltron BF900	0.82	0.79	0.73	0.72	0.84	0.81	0.89	0.64	0.79	0.88
AI-2D photo	0.98	0.98	0.96	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.98	0.97

■ Substantial agreement
■ Moderate agreement
■ Poor agreement

Figure 6. Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) of the various methods evaluated with DXA as the reference for all and stratified for sex, age, and BMI. The colors and cutoff points were adopted: dark blue (0.95-0.99= substantial strength of agreement), light blue (0.90–0.95= moderate strength of agreement), and red (<0.90 poor strength of agreement). AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, BC: Body composition, BMI: Body mass index, SF: Skinfold, S: Sites, US: Ultrasound.

SUPPLEMENTARY MATERIAL

Supplementary Table 1. Equations used to estimate body density and fat percentage.

Reference (year)	N	Points	Validation method	Equation	%BF
Durnin and Rahaman (1967)	191	Biceps; Triceps; Subscapular; iliac crest	Underwater weighing	$D \text{ (g/ml)} = 1.1610 - 0.0632 \log$ $(\text{BISF} + \text{TRSK} + \text{SBSF} + \text{SISK})$	Siri (1961) $\%BF = ((4.95/D) - 4.50) * 100$
Sloan (1967)	50	Mid-thigh; Subscapular	Underwater weighing	$D \text{ (g/ml)} = 1.1043 - 0.001327 \text{ TSF} -$ 0.001310 SSF	Brozek (1963) $\%BF = 100(4.570/D - 4.142)$
Jackson, Pollock and Ward (1980)	331	Tricipes, abdominal, iliac crest, mid-thigh	Underwater weighing	$D = 1.0960950 - 0.0006952(\text{TRSF} +$ $\text{ABSF} + \text{SISK} + \text{TSF}) +$ $0.0000011(\text{TRSF} + \text{ABSF} + \text{SISK} +$ $\text{TSF})^2 - 0.0000714 \text{ (age in years)}$	Siri (1961) $\%BF = ((4.95/D) - 4.50) * 100$
Jackson and Pollock (1985)	685	Tricipes, abdominal, iliac crest	Underwater weighing	$D = 1.089733 - 0.0009245 (\text{TRSF} +$ $\text{ABSF} + \text{SISK}) + 0.0000025 (\text{TRSF} +$	Siri (1961) $\%BF = ((4.95/D) - 4.50) * 100$

Eq. 1

$$\text{ABSf} + \text{SISf})^2 - 0.0000979 (\text{age in years})$$

Jackson and Pollock
(1985)

685

Triceps, iliac crest, mid-
thighUnderwater
weighing

$$D = 1.099421 - 0.0009929 (\text{TRSF} + \text{TSF} + \text{SISf}) + 0.0000023 (\text{TRSF} + \text{TSF} + \text{SISf})^2 - 0.0001392 (\text{age in years})$$

Siri (1961)

$$\%BF = ((4.95/D) - 4.50) * 100$$

Eq. 2

%BF: body fat percentage, ABSf: abdominal skinfolds, BISf: Biceps skinfold, D: density, SBSf: subscapular skinfold, SISf: suprailiac skinfold, SSf: scapular skinfold, TRSK: triceps skinfold, TSF: thigh skinfold.

Supplementary Table 2. Agreement among body fat percentages obtained using five skinfold predictive equations, five BIA devices, five predictive equations A-mode US, and AI-2D photo with DXA data as the reference method, considering all participants and stratified for sex, age, and BMI.

	N	Bias	LoA Upper	LoA Lower
All				
InBody-270	1273	-2.97	2.47	-8.40
InBCA F-500	1264	-2.55	8.03	-13.12
Omron HBF-514	1268	-1.01	6.75	-8.78
AVA-030	1196	-7.02	3.65	-17.69
Maltron BF900	1069	-2.73	7.21	-12.68
AI-2D photo	1272	-0.37	3.49	-4.24
Men				
SF Sloan	386	-4.52	5.70	-14.74
SF Durnin and Rahaman	386	-1.44	7.34	-10.23
US Sloan	476	-3.71	6.03	-13.45
US Durnin and Rahaman	471	-1.62	7.71	-10.95
InBody-270	578	-3.15	2.49	-8.78
InBCA F-500	461	-1.57	9.65	-12.79
Omron HBF-514	574	-1.80	5.90	-9.50
AVA-030	575	-5.75	5.50	-17.00
Maltron BF900	481	-0.84	8.68	-10.37
AI-2D photo	578	-0.54	2.81	-3.88
Women				
SF Jackson and Pollock1 3S	494	-6.11	1.24	-13.46
SF Jackson and Pollock2 3S	589	-5.91	1.24	-13.05
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	589	-6.06	0.74	-12.86

US Jackson and Pollock1 3S	486	-6.45	3.10	-16.07
US Jackson and Pollock2 3S	586	-6.64	3.66	-16.93
US Jackson, Pollock, Ward 4S	586	-7.87	1.22	-16.96
InBody-270	695	-2.82	2.43	-8.06
InBCA F-500	692	-3.35	6.38	-13.08
Omron HBF-514	694	-0.36	7.23	-7.95
AVA-030	621	-8.20	1.35	-17.75
Maltron BF900	588	-4.28	4.96	-13.52
AI-2D photo	694	-0.24	3.99	-4.47

	N	Bias	LoA Upper	LoA Lower
18–29 years				
SF Sloan	214	-4.76	3.90	-13.41
SF Durnin and Rahaman	214	-3.78	3.55	-11.11
SF Jackson and Pollock1 3S	219	-6.30	0.12	-12.73
SF Jackson and Pollock2 3S	219	-6.51	0.23	-13.24
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	219	-6.40	-0.42	-12.39
US Sloan	210	-3.61	5.14	-12.35
US Durnin and Rahaman	206	-0.88	7.27	-9.02
US Jackson and Pollock1 3S	220	-6.50	2.84	-15.83
US Jackson and Pollock2 3S	220	-8.10	1.53	-17.73
US Jackson, Pollock, Ward 4S	220	-8.50	0.18	-17.17
InBody-270	528	-3.34	1.84	-8.53
InBCA F-500	526	-3.01	8.54	-14.55
Omron HBF-514	526	-1.29	7.02	-9.59
AVA-030	515	-6.91	4.39	-18.21
Maltron BF900	431	-4.25	6.30	-14.79
AI-2D photo	527	-0.53	3.08	-4.14

30–39 years

SF Sloan	145	-3.90	6.32	-14.13
SF Durnin and Rahaman	145	-1.11	6.76	-8.97
SF Jackson and Pollock1 3S	149	-5.74	1.82	-13.29
SF Jackson and Pollock2 3S	149	-5.34	0.72	-11.40
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	149	-5.60	0.47	-11.66
US Sloan	138	-2.5	6.97	-12.00
US Durnin and Rahaman	137	-0.74	8.96	-10.45
US Jackson and Pollock1 3S	148	-5.63	3.71	-14.97
US Jackson and Pollock2 3S	148	-5.98	4.11	-16.06
US Jackson, Pollock, Ward 4S	148	-7.02	1.54	-15.57
InBody-270	345	-2.91	2.44	-8.27
InBCA F-500	339	-1.63	9.03	-12.29
Omron HBF-514	342	-0.44	7.29	-8.17
AVA-030	325	-6.10	4.50	-16.70
Maltron BF900	290	-1.75	8.09	-11.58
AI-2D photo	345	-0.23	3.45	-3.92

40–49 years

SF Sloan	60	-3.73	6.65	-14.10
SF Durnin and Rahaman	60	1.15	8.17	-5.87
SF Jackson and Pollock1 3S	95	-5.79	2.13	-13.71
SF Jackson and Pollock2 3S	95	-5.03	2.79	-12.85
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	95	-5.47	2.00	-12.93
US Sloan	60	-3.58	6.44	-13.59
US Durnin and Rahaman	60	-3.56	5.56	-12.67
US Jackson and Pollock1 3S	93	-6.43	3.62	-16.47
US Jackson and Pollock2 3S	93	-5.55	4.73	-15.83
US Jackson, Pollock, Ward 4S	93	-7.45	2.11	-17.01
InBody-270	176	-2.90	2.44	-8.26
InBCA F-500	175	-2.74	6.83	-12.31

Omron HBF-514	176	-0.75	5.97	-7.46
AVA-030	160	-7.84	1.36	-17.04
Maltron BF900	155	-1.91	7.18	-11.00
AI-2D photo	176	-0.19	4.15	-4.52

50–65 years

SF Sloan	69	-5.76	7.91	-19.43
SF Durnin and Rahaman	69	2.83	9.89	-4.24
SF Jackson and Pollock1 3S	102	-6.29	1.79	-14.36
SF Jackson and Pollock2 3S	126	-6.19	1.89	-14.27
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	126	-6.45	1.69	-14.60
US Sloan	68	-6.57	4.32	-6.57
US Durnin and Rahaman	68	-3.94	5.90	-13.78
US Jackson and Pollock1 3S	125	-7.53	2.15	-17.21
US Jackson and Pollock2 3S	125	-5.67	5.00	-16.33
US Jackson, Pollock, Ward 4S	125	-8.10	1.68	-17.88
InBody-270	224	-2.21	3.67	-8.09
InBCA F-500	224	-2.69	5.60	-10.98
Omron HBF-514	224	-1.46	5.91	-8.50
AVA-030	196	-8.19	1.44	-17.82
Maltron BF900	193	-1.50	5.99	-9.00
AI-2D photo	224	-0.37	3.89	-4.64

	N	Bias	LoA Upper	LoA Lower
<i>BMI ≤ 24.9 kg/m²</i>				
SF Sloan	183	-5.59	1.16	-12.34
SF Durnin and Rahaman	183	-1.45	6.06	-8.97
SF Jackson and Pollock1 3S	330	-5.64	0.95	-12.22
SF Jackson and Pollock2 3S	330	-5.94	0.72	-12.60
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	330	-6.09	-0.12	-12.07

US Sloan	176	-4.57	3.64	-12.78
US Durnin and Rahaman	172	0.23	7.21	-6.75
US Jackson and Pollock1 3S	328	-6.06	0.74	-12.86
US Jackson and Pollock2 3S	328	-6.93	3.34	-17.20
US Jackson, Pollock, Ward 4S	328	-7.45	1.30	-16.20
InBody-270	606	-3.89	1.13	-8.91
InBCA F-500	605	-3.29	7.32	-13.90
Omron HBF-514	602	-1.82	6.42	-10.07
AVA-030	605	-6.64	3.69	-16.97
Maltron BF900	508	-4.56	5.37	-14.50
AI-2D photo	605	-0.49	3.37	-4.36

	N	Bias	LoA Upper	LoA Lower
--	----------	-------------	------------------	------------------

BMI 25–29.9 kg/m²

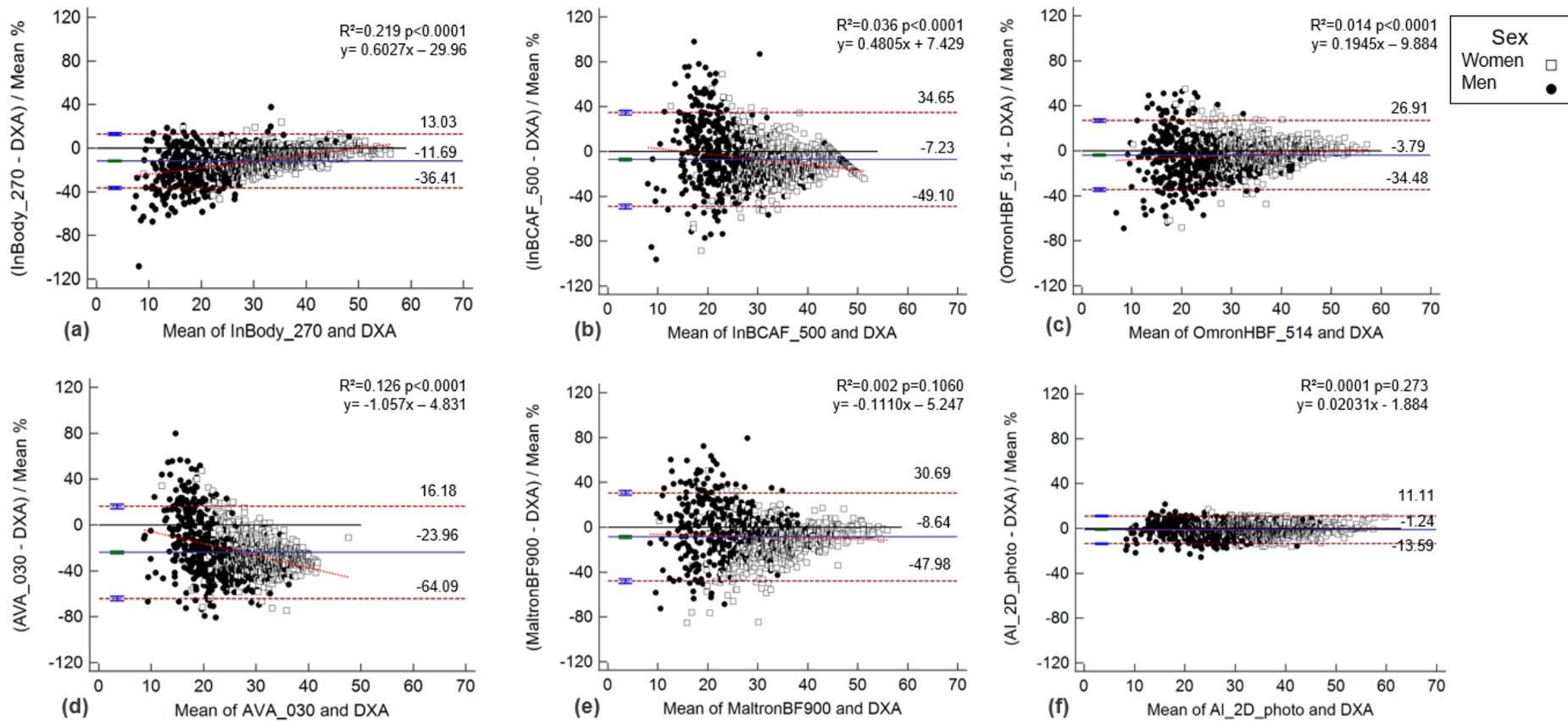
SF Sloan	203	-5.18	3.95	-14.31
SF Durnin and Rahaman	203	-1.03	8.24	-10.30
SF Jackson and Pollock1 3S	164	-5.88	2.27	-14.04
SF Jackson and Pollock2 3S	164	-5.56	2.36	-13.53
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	164	-5.81	2.20	-13.81
US Sloan	199	-2.85	6.96	-12.66
US Durnin and Rahaman	198	-1.16	8.01	-10.33
US Jackson and Pollock1 3S	158	-6.58	1.87	-15.03
US Jackson and Pollock2 3S	158	-5.58	4.73	-15.89
US Jackson, Pollock, Ward 4S	158	-7.49	1.48	-16.47
InBody-270	440	-2.65	2.28	-7.57
InBCA F-500	437	-1.36	9.43	-12.15
Omron HBF-514	440	-0.41	6.82	-7.63
AVA-030	439	-6.92	4.20	-18.05
Maltron BF900	361	-1.31	8.09	-10.72
AI-2D photo	440	-0.47	3.07	-4.02

BMI \geq 30 kg/m²

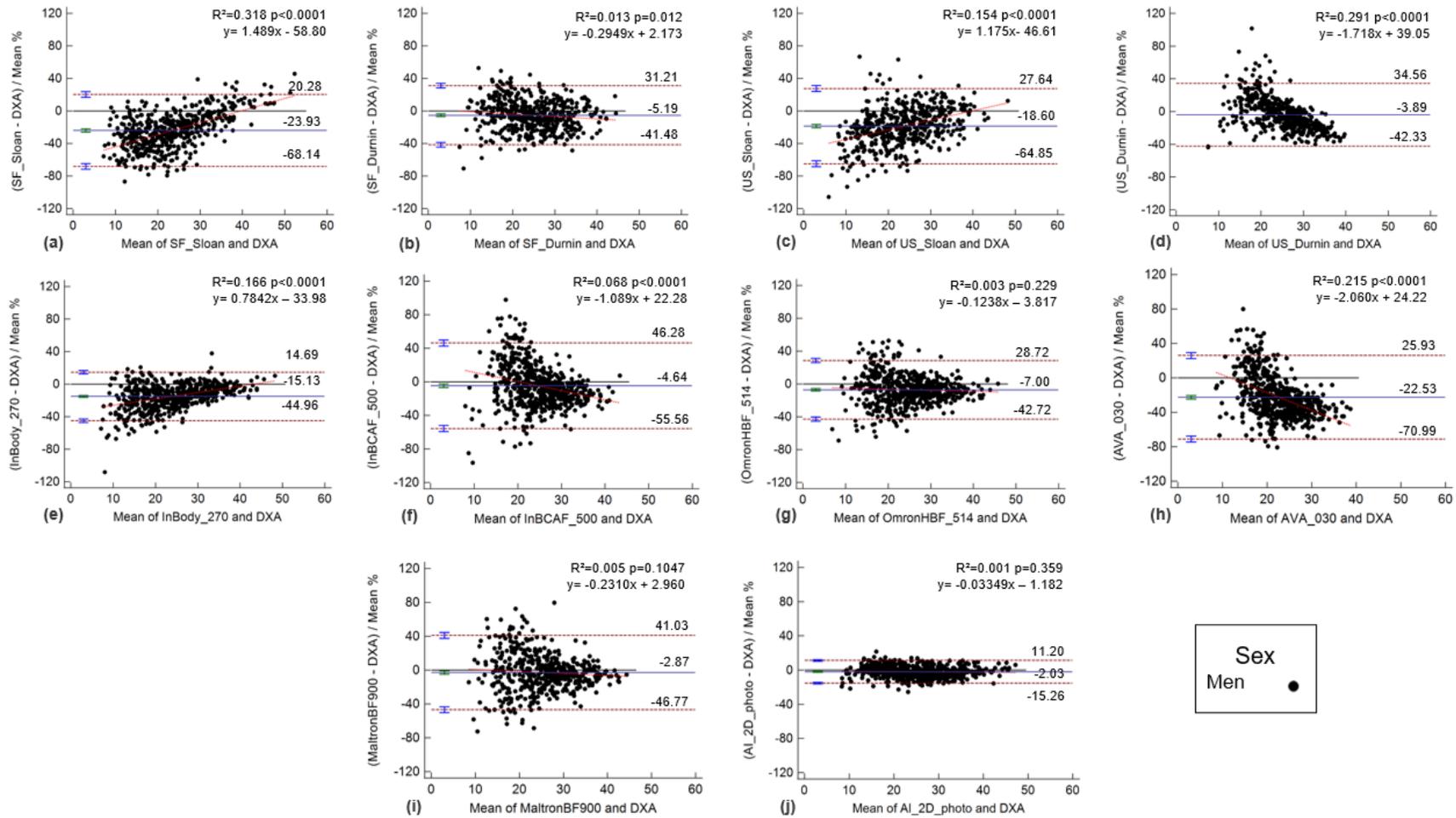
SF Sloan	102	-1.28	12.96	-15.51
SF Durnin and Rahaman	102	-2.26	7.46	-11.97
SF Jackson and Pollock1 3S	95	-8.13	-0.95	-15.32
SF Jackson and Pollock2 3S	95	-6.33	0.98	-13.63
SF Jackson, Pollock, Ward 4S	95	-6.37	0.87	-13.60
US Sloan	101	-3.90	7.56	-15.35
US Durnin and Rahaman	101	-5.67	2.83	-14.17
US Jackson and Pollock1 3S	100	-10.32	-1.50	-19.13
US Jackson and Pollock2 3S	100	-7.35	2.64	-17.33
US Jackson, Pollock, Ward 4S	100	-9.86	-0.40	-19.32
InBody-270	227	-1.12	4.24	-6.47
InBCA F-500	222	-2.84	6.35	-12.05
Omron HBF-514	226	-0.04	6.50	-6.58
AVA-030	152	-8.82	1.20	-18.84
Maltron BF900	200	-0.64	6.84	-8.13
AI-2D photo	227	0.14	4.44	-4.17

AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, LoA: limits of agreement, S: Sites, SF:

Skinfolds; US: Ultrasound.

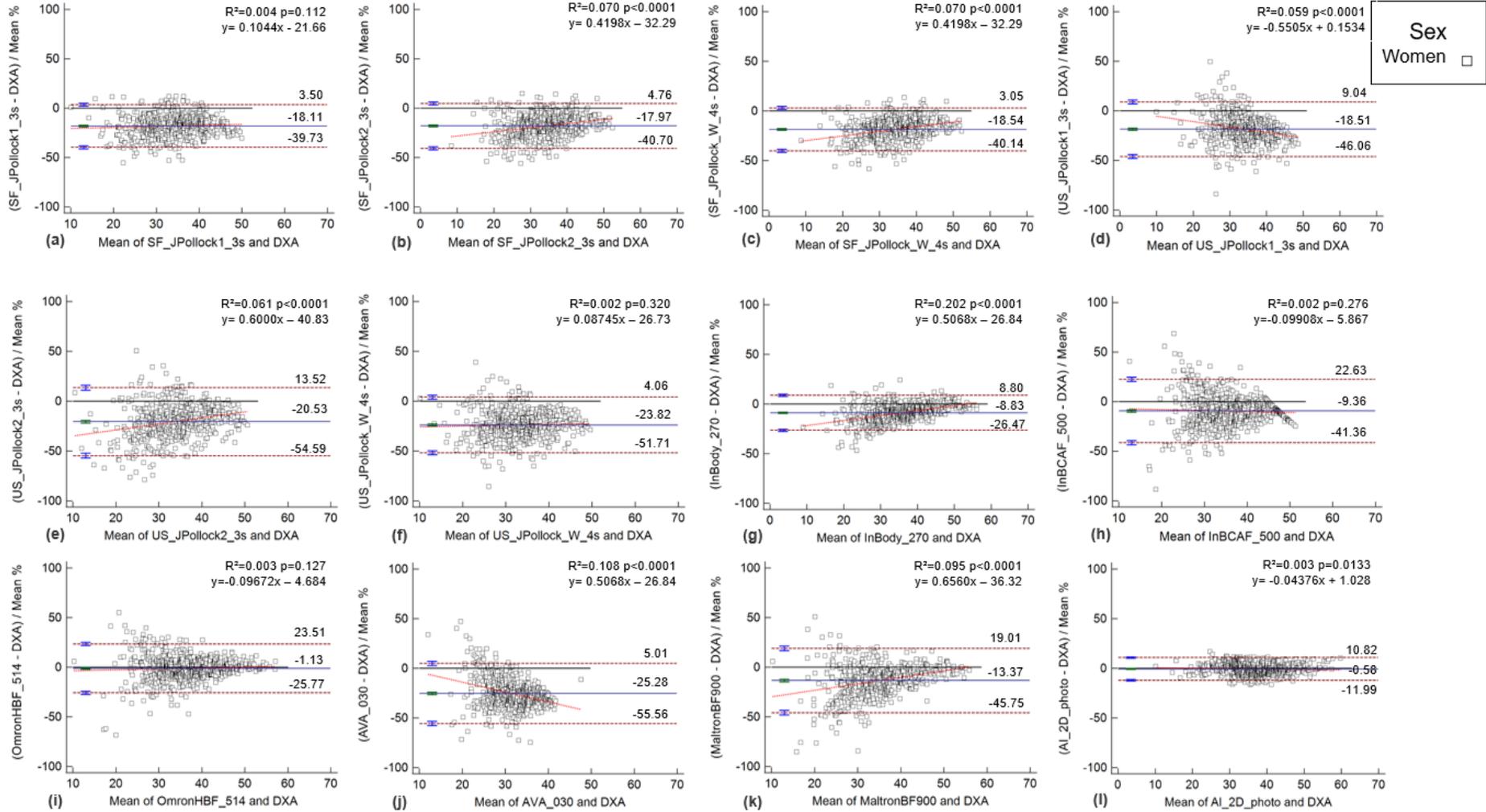


Supplementary Figure 1. Bland-Altman analyses the difference percentage of BIA and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP in all participants. (a) InBody-270, (b) InBCA F-500, (c) Omron HBF-514, (d) AVA-030, (e) MaltronBF900, and (i) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown is ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

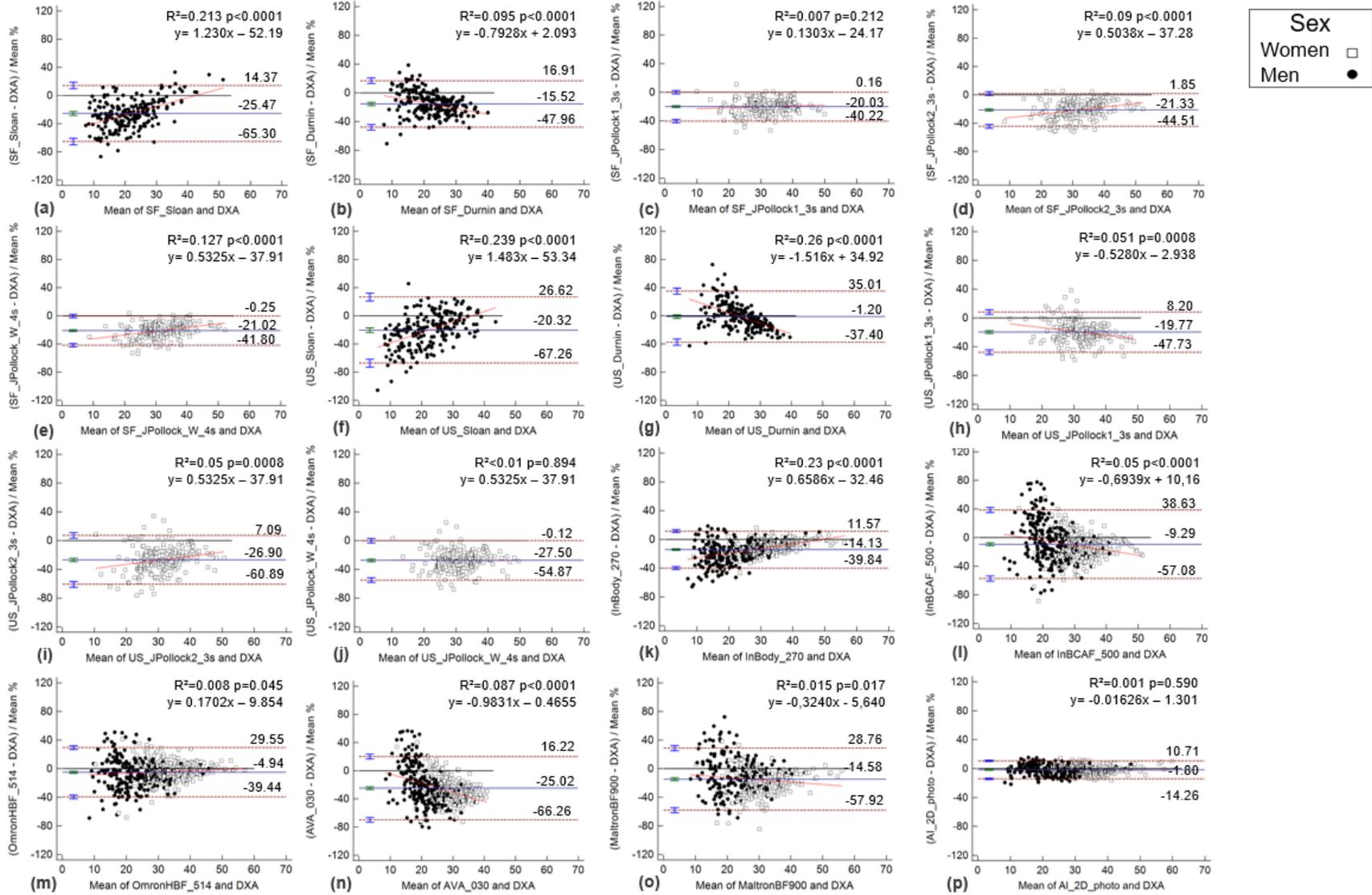


Supplementary Figure 2. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for men. (a) SF Sloan, (b) SF Durmin and Rahaman, (c) US Sloan, (d) US Durmin and Rahaman, (e) InBody-270, (f) InBCA F-500, (g) Omron HBF-514, (h) AVA-

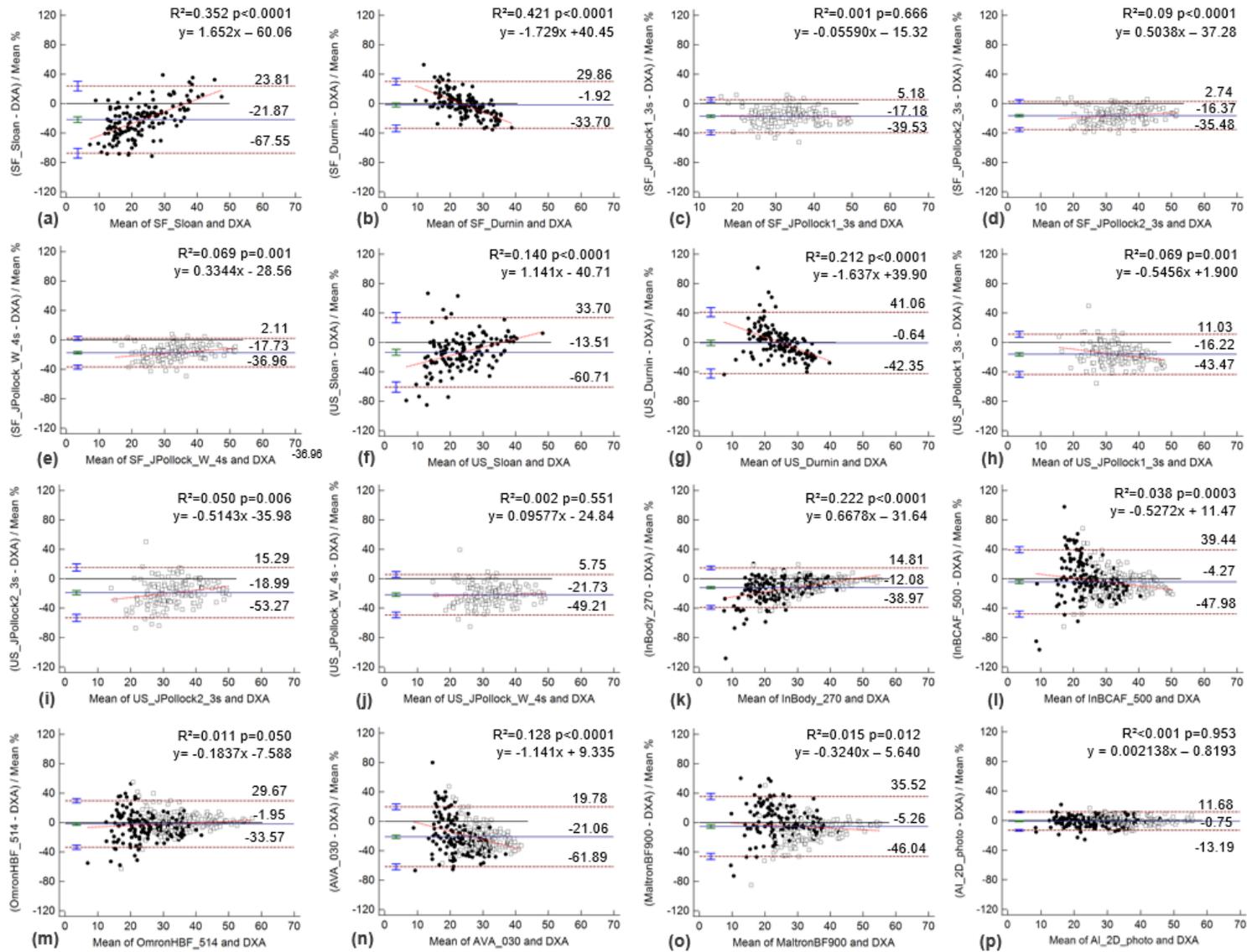
030, (i) MaltronBF900, and (j) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.



Supplementary Figure 3. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for women. (a) SF Jackson and Pollock1 3s, (b) SF Jackson and Pollock2 3s, (c) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (d) US Jackson and Pollock1 3s, (e) US Jackson and Pollock2 3s, (f) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (g) InBody-270, (h) InBCA F-500, (i) Omron HBF-514, (j) AVA-030, (k) MaltronBF900, and (l) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

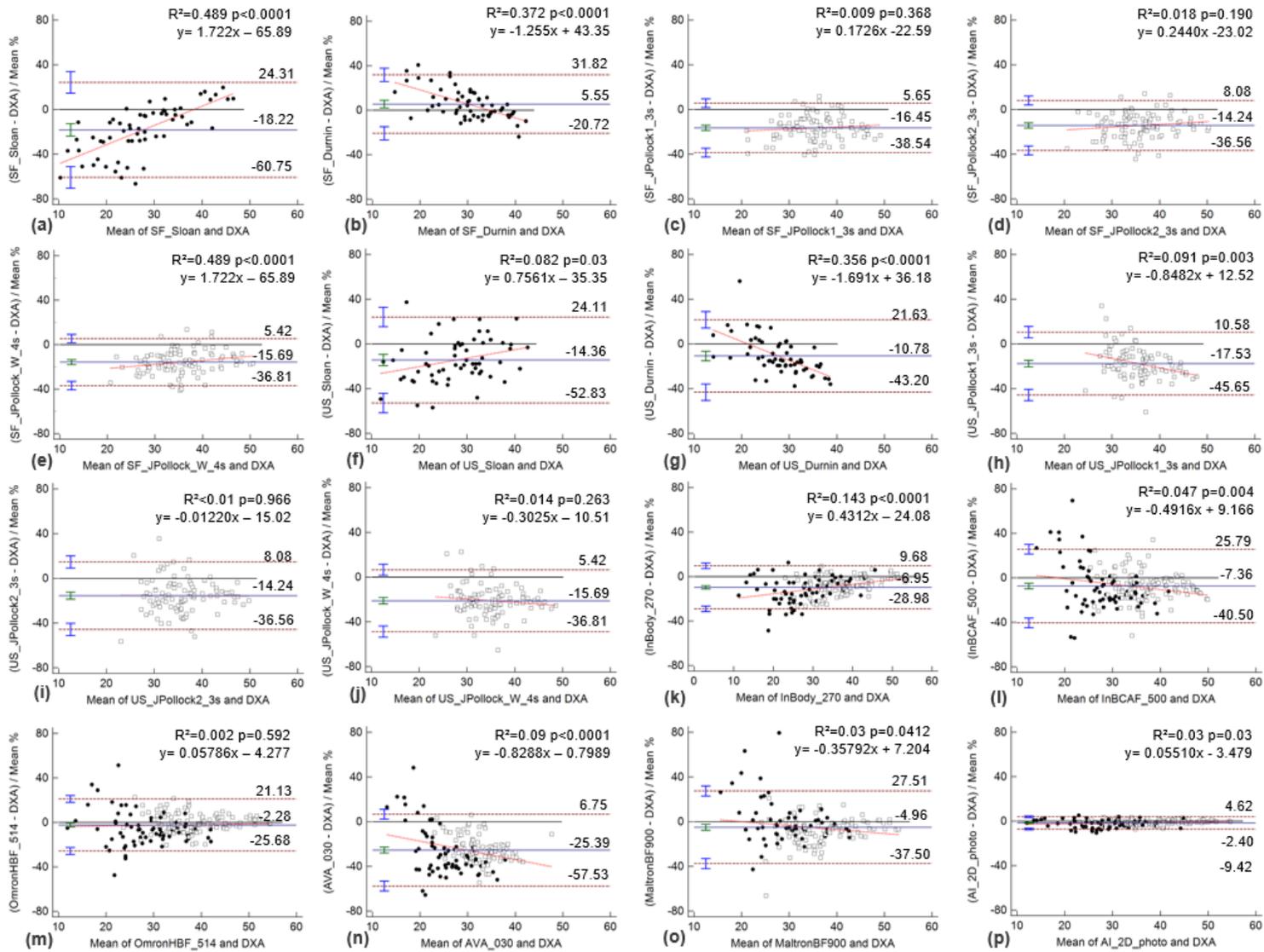


Supplementary Figure 4. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (≥ 18 to < 30 years). (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman, (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman, (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

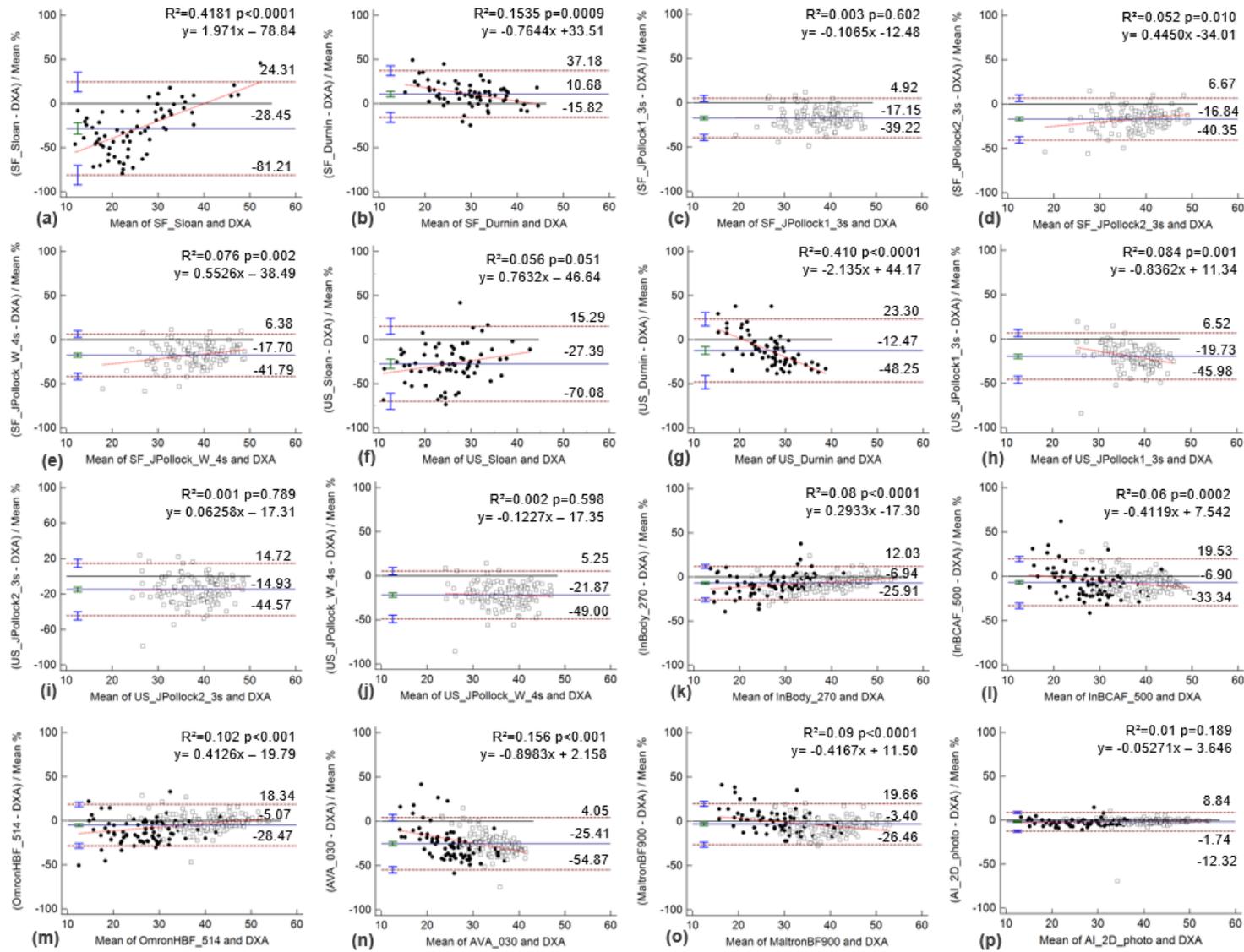


Supplementary Figure 5. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (<40 years). (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

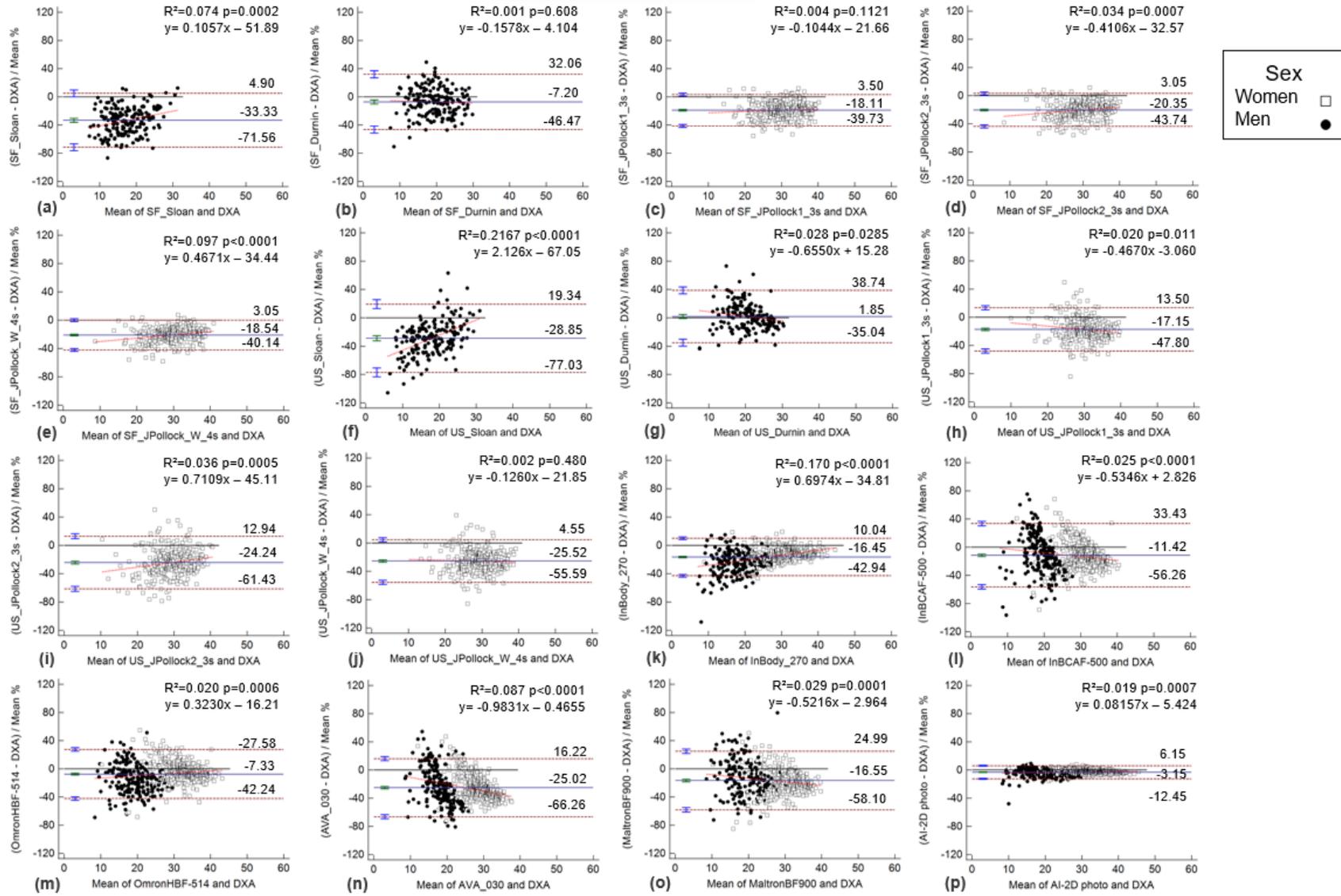
Sex
 Women □
 Men ●



Supplementary Figure 6. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (<50 years). (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

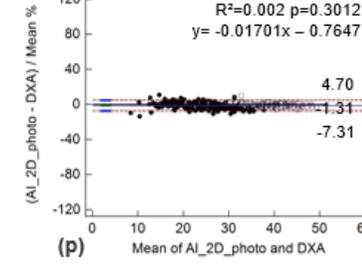
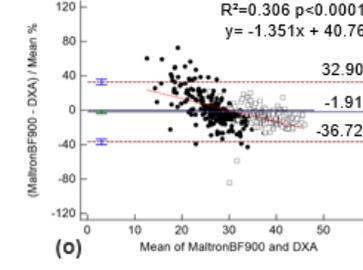
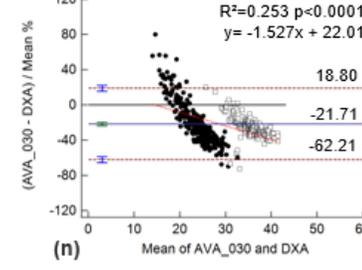
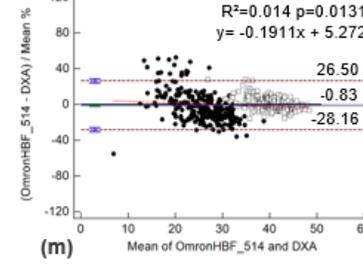
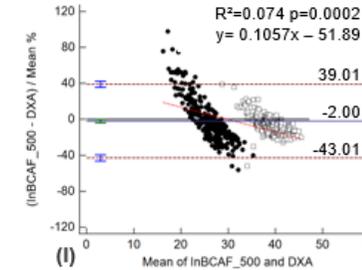
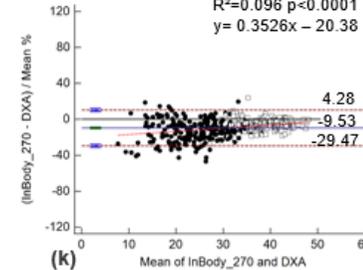
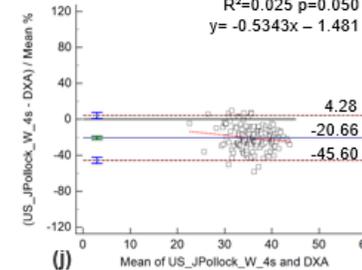
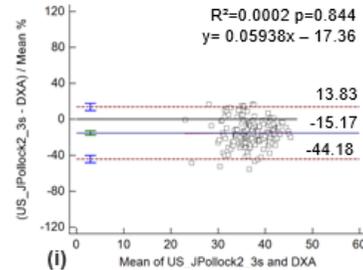
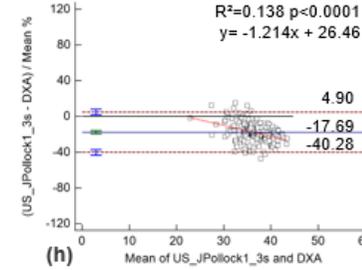
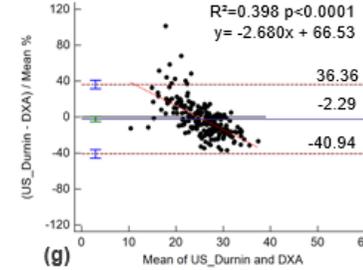
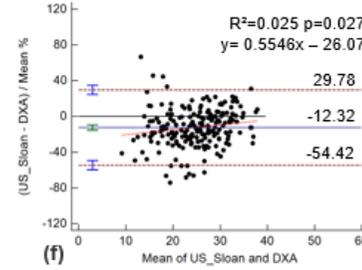
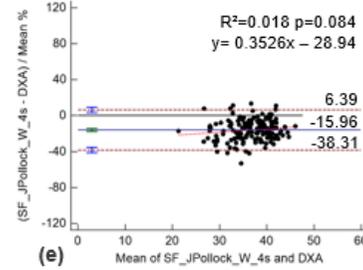
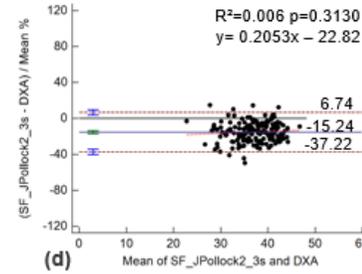
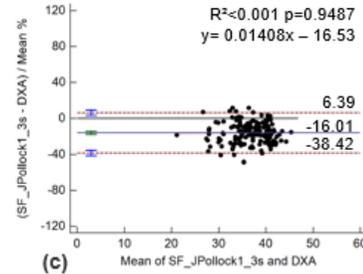
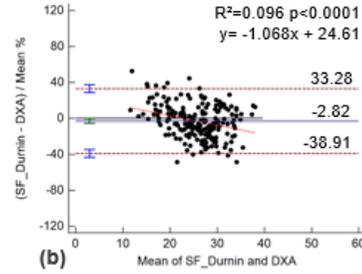
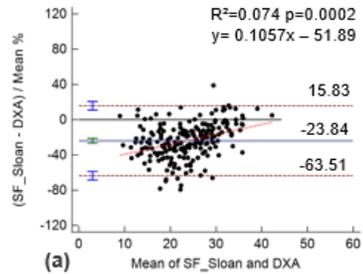


Supplementary Figure 7. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for age (≥ 50 to ≤ 65 years). (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal blue lines are the mean, the dashed brown lines are ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

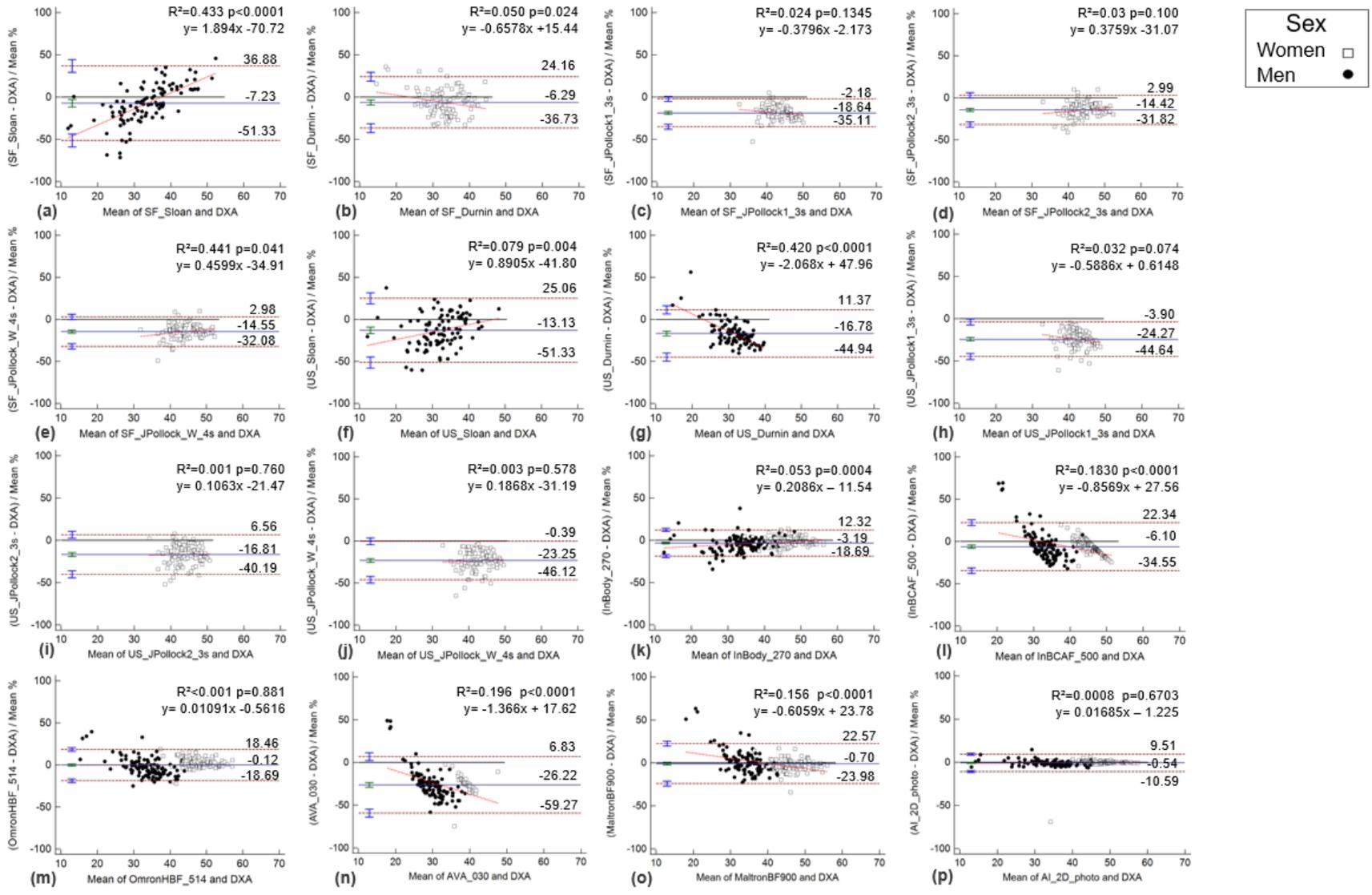


Supplementary Figure 8. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI ≤ 24.9 kg/m². (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal black lines are at the mean ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

Sex
 Women □
 Men ●



Supplementary Figure 9. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI 25 to 29.9kg/m².(a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal black lines are at the mean \pm 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.



Supplementary Figure 10. Bland-Altman analyses the difference percentage of SF, US, BIA, and AI-2D photo compared to DXA for the estimation of BFP for BMI ≥ 30 kg/m². (a) SF Sloan, (b) SF Durnin and Rahaman , (c) SF Jackson and Pollock1 3s, (d) SF Jackson and Pollock2 3s, (e) SF Jackson, Pollock and Ward 4s, (f) US Sloan, (g) US Durnin and Rahaman (h) US Jackson and Pollock1 3s, (i) US Jackson and Pollock2 3s, (j) US Jackson, Pollock and Ward 4s, (k) InBody-270, (l) InBCA F-500, (m) Omron HBF-514, (n) AVA-030, (o) MaltronBF900, and (p) AI-2D photo. The horizontal black lines are at the mean ± 1.96 SD and the dashed red lines are the fitted regression lines. White square= women, black circle= men.

7.2 MANUSCRITO 2

O manuscrito 2 será submetido na revista científica ***Nutrition Research***.

AGREEMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TWO-DIMENSIONAL PHOTO ANALYSIS IN ESTIMATE BODY FAT PERCENTAGE IN ADULTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY WITH LONGITUDINAL VALIDATION

Tathiany Jéssica Ferreira¹, Carolina Ribeiro Pessanha¹, Igor Costa Salvador¹, Renata Romanelli Mollini da Silva¹, Maria Aderuza Horst², Anna Paola Trindade Rocha Pierucci^{1*}.

¹Instituto de Nutrição Josué de Castro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil.

***Corresponding author:** Anna Paola Trindade Rocha Pierucci. E-mail adress: appierucci@gmail.com. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Av. Carlos Chagas Filho, 373 - Centro de Ciências da Saúde, Bloco J, subsolo, sala 08 - Lab DAFEE, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, RJ, 21941-902, Brazil.

Number of figures: 2

Number of tables: 2

List of Abbreviations

BC: Body composition

BFP: Percentage of body fat

BIA: Bioelectrical impedance analysis

CCC: Lin's Concordance Correlation Coefficient

DXA: Dual-energy X-ray absorptiometry

T1: Time 1

T2: Time 2

Highlights

- AI-2D photo may have potential utility for tracking body fat percentage over time
- AI-2D showed substantial concordance with DXA in both evaluated moments
- InBody-270 showed no statistical difference in the percentage of BFP difference in T1 and T2
- Omron HBF-514 showed statistical difference in the percentage of BFP difference in T1 and T2

Abstract

The agreement between body composition (BC) methods has been widely investigated. However, the longitudinal agreement of bioelectrical impedance analysis (BIA) and artificial intelligence two-dimensional photo (AI-2D photo) compared to a reference method such as Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) has still been little explored. The objective of this work is to evaluate the agreement of BIA and AI-2D photo compared to DXA at two time points to estimate percentage of body fat (BFP) in adults. This is a cross-sectional study with longitudinal validity with 167 individuals, both sexes, aged between 18 and

65 years. BFP was assessed in two time points (T1 and T2) by two BIA devices (InBody-270 and Omron HBF-514), AI-2D photo, and DXA. The time interval between T1 and T2 was 12 to 16 weeks. Bland-Altman plot as difference percentage (%) and Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) was performed, with DXA as the reference standard. The paired t-test or Wilcoxon test was then employed to compare the difference percentage between T1 and T2. AI-2D photo (T1: -1.22; T2: -1.29) and Omron HBF-514 (T1: -2.91; -4.59) showed lower mean limits of agreement in both moments. AI-2D photo showed substantial agreement in both moments (CCC: 0.098 and 0.977, respectively). Analyzing the linear regression of the Bland -Altman plot as %, AI-2D photo and Omron HBF-514 did not show proportion bias ($p > 0.05$). Comparing the differences in percentage values for estimating BFP, only Omron HBF-514 showed a statistical difference between T1 and T2 ($p = 0.004$). Our findings demonstrate that the AI-2D photo may have potential utility for tracking BC over time, particularly in contexts where purchasing or using a device such as DXA is not available.

Keywords: Body composition; Fat mass; Photon Absorptiometry; DXA; Electrical Impedance; Precision; Bland-Altman.

1.Introduction

Body composition (BC) evaluation is frequently used in clinical practice for health evaluation and monitoring, in developing nutritional strategies, and in the follow-up of therapeutic interventions [1,2]. BC assessment is a key instrument for evaluating nutritional status, which depends on precise and non-invasive technologies capable of detecting clinically significant changes over time [3]. Thus, the reliability of body component measurement techniques is essential to the accurate reporting of intervention outcomes [4].

Several techniques are available to evaluate the BC that vary in precision and accuracy [3,5]. Dual X-ray absorptiometry (DXA) has been suggested as one of the most appropriate methods for body fat assessment [6], seems to be well suited for longitudinal studies, provides easily reproducible results [7], and has been widely used as a reference method to validate other methods more accessible in adults [8–11]. Nonetheless, DXA is dispending and not very practical for routine analysis, especially for follow-up assessments [12].

Other more practical measurement methods for determining BC have been available and widely used in routine clinical practice. Bioelectrical impedance analysis (BIA) is an easy-to-use, portable, relatively low-cost method and a useful tool for body components assessment [1]. Further, the concordance, accuracy, and reliability vary widely among BIA analyzers [3]. In addition, recently, interest in using artificial intelligence (AI), especially machine learning and computer vision, has gained prominence in BC assessment, to reduce technical errors and speed up analysis time [13]. The use of computer vision and AI allowed the use of two-dimensional (2D) photo to evaluate body fat percentage (BFP). Initial results described that the 2D photo provided an accurate and non-invasive

estimate of F [14] and a small variation in %error compared to DXA and other equipment to estimate BFP [14–16].

The agreement of BC methods such as BIA and 2D photo compared to DXA to estimate BFP has already been described in the literature as an alternative form of body analysis [12,14,15,17,18]. However, evaluating the agreement of methods in longitudinal time was little explored. Measurements over time aim to ensure and guarantee the consistency, reliability, and precision of the measurements taken. If there is a lack of agreement between methods at temporal intervals, it becomes challenging to differentiate real changes in the studied variable from variations due to measurement methods [4]. Therefore, accurate measurements of BC are essential for interventions and health monitoring. In addition to precision, measurements must be practical and minimally invasive to maximize their usefulness [19]. Thus, the aim of this study is to assess the agreement among BIA and AI-2D photo in comparison to DXA at two time points for estimating BFP in adults.

2. Methods and Materials

2.1 Study design and volunteers' selection

This is a cross-sectional study with longitudinal validity carried out in the Laboratory of Development of Foods for Special Needs and Educational Purpose, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil. The study was conducted following the declaration of Helsinki and approved by the ethical committee in research from the University Hospital, registered by the protocol num.: 5.271.068.

Volunteers were recruited by online propagation on social media (Facebook® and Instagram®), between September 2021 and February 2022. The study sample was composed of individuals of both sexes, ages between 18 and 65 years old, weighing up to 150 kg (Fig.1). The experimental design consisted of two visits: one initial visit, time 1 (T1), and an optional follow-up visit, time 2 (T2) scheduled 12 to 16 weeks later. The following were evaluated at T1: consent, height, body mass, BC, and T2: height, body mass, and BC. Participants were not specifically instructed to change any aspect of their habitual lifestyle after their initial visit but were told that they could lose, gain or maintain weight between visits.

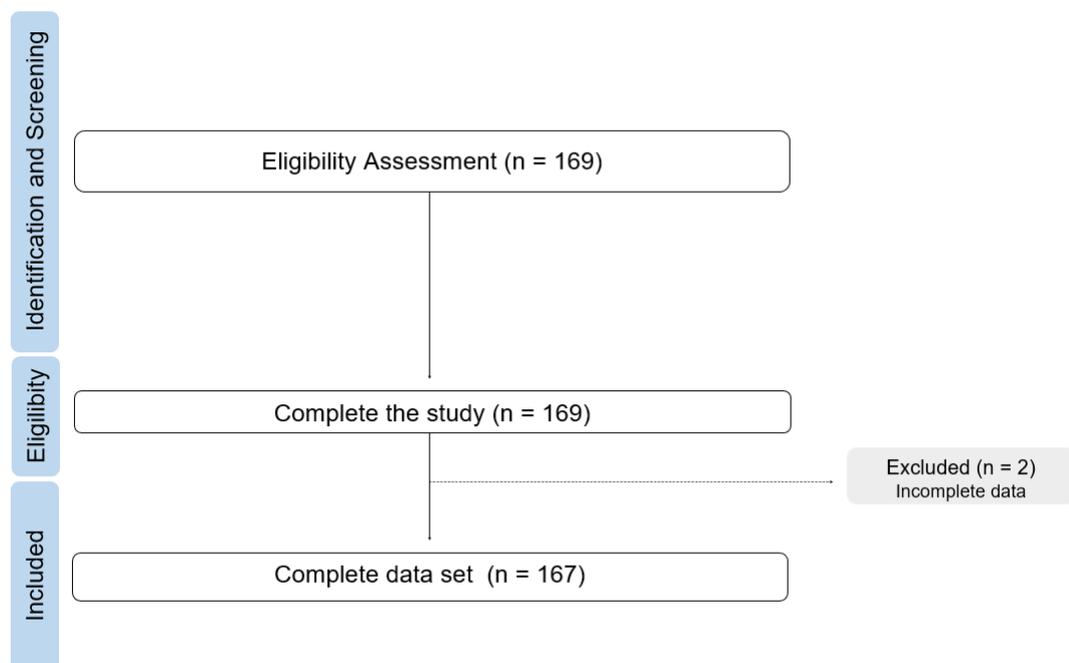


Figure 1. Flowchart of subjects' selection.

The inclusion criteria were to be under the weight limit of 150 kg due to the equipment limits, not having an amputation, impaired walking, and or no use of a

pacemaker. Beyond that, the subjects were oriented with the pre-exam protocol which was: (i) not consuming alcohol and caffeine 12 hours before the exam; (ii) not practicing exercise or going to saunas eight hours before the exam; (iii) fasting four hours before the exam; (iv) empty the bladder before the exam; (v) wear bathing clothes as swimming trunks for men and sports bra and shorts for women without metal parts; (vi) take off all metal accessories as rings, earring, and piercings. The subjects with any tissue alterations (muscular, bone, fat), edema, movement limitations, menstrual period, pregnant women, refusal to participate in any stage of the study, or not following the protocol were excluded from the study.

General information was obtained through a structured questionnaire in two times, with information on age, sex, the practice of physical exercises (yes or not), and previous diagnosis of diseases (yes or not). To monitor possible external variables, the time of the last meal and physical activity, date of onset of the last menstruation, and duration of the menstrual period were questioned. Information was self-reported. All participants voluntarily agreed to participate in the research and written informed consent was obtained. The volunteers were evaluated by BIA, AI-2D photo, and DXA with a one-minute interval between methods.

2.2 Weight and Height

To measure the stature a stadiometer Avanutri AVA-305 (AvaNutri, Três Rios, Brazil), graded 0.1 cm was used. Individuals were instructed to stand in front of the stadiometer in an orthostatic position, heels united and head

positioned in Frankfurt position. The body mass was measured with InBody-270 (InBody, Seoul, Korea), graded 0.1 kg.

2.3 Bioelectrical Impedance Analysis

The bioimpedance exam was performed by two equipment: InBody-270 (InBody, Seoul, Korea) double frequency (20 e 100 kHz), tetra polar with eight electrodes, and Omron HBF-514 (Omron, Kioto, Japan), single frequency (50 kHz), and tetrapolar with four electrodes. These scale models were chosen based on their popularity with customers.

2.4 AI-2D photo

The participants were instructed to stand with their legs and arms ensuring no points of contact between themselves or with their trunk, in a pose as described by Alves et al. [20]. Four photographs (frontal, rear, left, and right profiles) were taken against a white background, with a front camera of the iPhone 11 (Apple, Inc.) positioned on a pedestal approximately two meters away from the individuals. The photos were analyzed by an AI-based body image assessment app (Shaped, Rio de Janeiro, Brazil). This app uses 2D camera images with deep learning and machine learning sex-based approach to estimate BFP. The deep learning was used to identify the human body and design a computer vision method inspired by human anatomy to isolate the upper and lower limbs, the trunk, and body parts identifying the measurement points, and applying regression methods to determine body parts measure and BFP. Thus, was used digital image processing and machine learning techniques to estimate BFP, considering four 2D camera images and additional factors such as age,

weight, height, and sex. The data was optimized and trained using internal data, rather than external trial data [20].

2.5 Dual-energy X-ray Absorptiometry

Fat mass was estimated with the DXA method GE Prodigy Advance device (GE Healthcare, Madison, Wisconsin, USA) with enCore 2008 software version 12.20 was used in the automatic full-body scan mode. The participants were placed in a dorsal position and asked to remain immobile until the end of the procedure. The exams were performed by a single trained and qualified professional, following the quality control procedures recommended by the manufacturer, and the official recommendations of the International Society for Clinical Densitometry [21]. If the subject had a body area larger than the equipment reading area, the exam was performed on the right side of the body and replicated on the left side [22].

2.6 Statistical Analysis

The sample was for convenience. The power of the test was estimated a posteriori and was calculated based on an average effect size of 0.20, for a sample of 167 individuals. The calculations showed that with a significance level of 5%, the statistical power is equivalent to 83%. The software used was G-Power® (version 3.1.9.2). The descriptive values are presented as mean values and mean errors. The sample distribution analysis was performed using the Shapiro-Wilk test. Bland-Altman was performed, including the generation of the 95 % limits of agreement and linear regression to allow for the examination of proportional bias [23]. Lin's Concordance Correlation Coefficient (CCC) was used

to assess the concordance between each method with DXA [24]. The strength of agreement criteria for CCC was according to McBride: CCC<0.90= poor agreement; CCC:0.91–0.95= moderate agreement; CCC:0.96–0.99= substantial agreement; and CCC>0.99= almost perfect agreement [25]. The T-Test or the Wilcoxon was realized to compare the difference percentage between T1:T2, depending on the normality. The significance level of $p<0.05$ was adopted. The statistical analysis was realized at the GraphPad Prism, version 9.2.0.

3. Results

3.1 Characteristics of the participants

The characteristics of all individuals are presented in Table 1. A total of 167 individuals were evaluated, mostly male (52.7%, n=88), with a mean age of 35 years (± 12.30), weight 74.44 kg (± 17.02), height 169.40 cm (± 9.29) and BMI 25.77 kg/m² (± 4.58) in T1. Most volunteers (85.4%) reported practicing some type of physical activity.

Table 1. Characteristics of the participants evaluated in T1 and T2 (n=167).

Variable	T1	T2
Age, years	35 \pm 12.3	35 \pm 12.28
Weight, kg	74.44 \pm 17.02	73.85 \pm 16.61
Height, cm	169.40 \pm 9.29	169.44 \pm 9.25
BMI, kg/m ²	25.77 \pm 4.58	25.55 \pm 4.44

BFP

Inbody-270	26.47 ± 10.05	25.98 ± 9.78
Omron HBF-514	28.69 ± 9.82	28.02 ± 10.81
AI-2D photo	29.08 ± 9.62	28.68 ± 9.79
DXA	29.42 ± 9.62	28.96 ± 9.55

The data are presented in mean difference ± standard deviation. BFP: body fat percentage, AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, BMI: Body mass index, DXA: Dual energy x-ray absorptiometry, T1: time 1, T2: time 2.

3.2 Agreement among BIA and AI-2D photo compared to DXA

The Bland-Altman plots are shown in Figure 2. Among the evaluated methods, AI-2D photo (T1: -1.46; T2: -1.05) and Omron HBF-514 (T1: -2.91; -4.59) showed lower mean limits of agreement in both evaluated moments. AI-2D photo showed lower limits of agreement in both moments. Analyzing the linear regression of the Bland -Altman plot as %, AI-2D photo and Omron HBF-514 did not show proportion bias ($p > 0.05$).

Comparing the differences percentage values for estimating BFP, the Omron HBF-514 showed a statistical difference between T1 and T2 ($p = 0.004$) (Table 2). Inbody-270 showed moderate correlation in both moments T1 (CCC=0.923) and T2 (CCC=0.920), Omron HBF-514 showed moderate correlation in T1 (CCC=0.929) and poor correlation in T2 (CCC=0.839), and AI-2D photo showed substantial agreement e in T1 (CCC=0.993) and T2 (CCC=0.995).

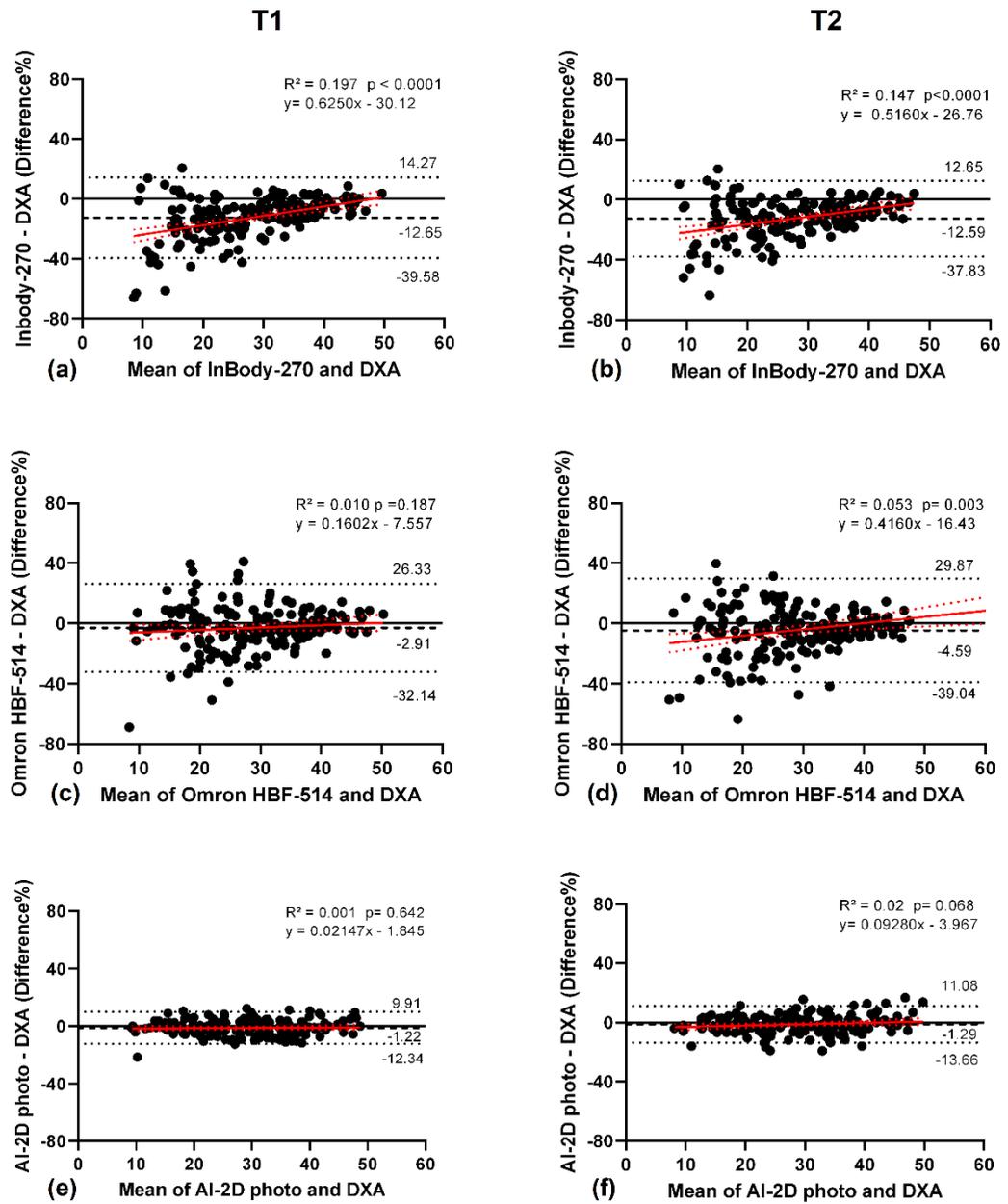


Figure 2. Bland–Altman plots for Inbody-270, Omron HBF-514 and AI-2D photo compared to DXA in T1:T2. T1: time 1; T2: time 2; AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, DXA: Dual energy x-ray absorptiometry.

Table 2. Comparison of the percentage of difference and CCC among BIA and AI-2D photo compared to DXA at T1:T2.

	T1	T2
--	----	----

Methods	%Difference	CCC	%Difference	CCC	p-value
Inbody-270	-12.49 ± 13.70	0.923	-12.65 ± 12.01	0.920	0.602
Omron HBF-514	-2.32 ± 15.53	0.929	-4.84 ± 15.57	0.839	0.004
AI-2D photo	-1.22 ± 5.68	0.983	-1.29 ± 6.31	0.977	0.927

Data are presented as mean ± standard deviation. P-values were derived from the Wilcoxon test between the %difference T1:T2. AI-2D photo: Artificial intelligence two-dimensional photo, T1: time 1, T2: time 2.

4. Discussion

In this study, we evaluated the agreement between BIA and AI-2D photo compared to DXA at two-time points to estimate BFP in adults. The AI-2D photo showed a lower mean percentage and limits of agreement, and substantial agreement in both evaluated moments. AI-2D photo showed no significant difference when comparing the differences in percentage values for estimating BFP in T1:T2. Thus, it is suggested that the AI-2D photo may be of interchangeable use and may be recommended when evaluating changes in PBF in adults. To our best knowledge, this is the first study to evaluate the agreement of AI-2D photo and DXA in two moments. These findings are interesting, as AI-2D photo is a recent method [15] and to increase knowledge about inter-methods agreement at two moments for BFP is of interest for assessment, interpretation, and comparison purposes [26]. This method not only demonstrates agreement between results obtained at different times but also highlights the feasibility of a simplified and accessible approach to estimating an individual's BC. This

advance represents a significant contribution to body fat assessment methods, providing an accessible and easy-to-implement alternative.

The recent use of phone-captured digital photographs for AI-associated body composition has increased. Farina et al. [11] revealed the 2D photo showed high precision, concordance, accuracy, and absence of proportion bias when automated machine learning was used to estimate body fat mass in eutrophic and overweight adults. Majmudar et al. [15] validated a novel, accessible, and easy-to-use system, visual BC body fat estimates were accurate and without significant bias compared to DXA as the reference. Our results demonstrated AI-2D photo showed no significant difference when comparing the differences percentage values for estimating BFP in T1:T2 and substantial agreement in two-time. These results demonstrated agreement and precision for calculating BFP. Thus, the results provide encouraging validation for an innovative, affordable, and user-friendly system designed to estimate photo-based total body fat.

BIA is one of the most used methods to assess BC, so it is important to determine its reliability and accuracy error compared to other measurement methods. With confidence that measurements will be accurate overtime periods, the BIA can be a powerful tool for BC measurements in the research and clinical setting [27,28]. Studies have already investigated the agreement between BIA and DXA at more than one-time point [12,19,29].

Klement et al. [12] described the multifrequency BIA device as showing excellent agreement with DXA ($CCC > 0.9$) at both time points. Measurement BIA appears to be very well suitable for assessing BC of oncological patients and should be used more frequently on a routine basis to monitor the BC of breast cancer patients. Siedler et al. [29] examining the test–retest reliability, cross-

sectional validity, and longitudinal validity of a sample of BIA devices as compared with a laboratory four-compartment (4C) model, such as DXA. Devices were then scored from 1 (best performer) to 15 (worst performer) within each domain. The authors investigated two models from the same manufacturer as our study: Omron HBF-516 and InBody H20N. The Omron HBF-516 presented the best score for global rankings, group-level validity rankings, individual-level validity longitudinal rankings. InBody H20N presented the fifth best score for global rankings, and sixth position for group-level validity rankings and individual-level validity longitudinal rankings. In our study, despite Omron presenting an average %difference of less than 5%, it did not have an almost perfect or substantial agreement and the agreement was not the same in T1:T2. On the other hand, InBody showed moderate agreement at both times. However, the average % difference and limits of agreement were higher compared to the other methods evaluated. These results should be considered with caution because the utility of BIA devices for the accurate assessment of body composition values largely depends upon the model in question.

Omron HBF-514 and AI-2D photo did not show proportional bias in the two times evaluated, that is, the values of the differences were homogeneously distributed. The proportional bias is an important parameter and describes the difference between measurement methods increase or decrease as the average value of measurements increases [30]. In contrast, InBody-270 showed proportional bias in both times, which can indicate this device demonstrates a lack of sensitivity required to accurately estimate BFP in individuals on either end of a population's distribution while generally exhibiting greater accuracy in estimating BFP in those with intermediate values [29].

Studies suggest that multifrequency BIA devices are more accurate than single-frequency devices for estimating BC, as they have greater penetration of different tissues and, therefore, are more accurate [3]. In our findings, InBody-270 showed moderate agreement two times and Omron HBF-514 showed moderate correlation in T1 and poor correlation in T2. These results demonstrated that the BIA frequency can influence the BFP accuracy and concordance of BC methods. The variation in the results could potentially be explained by the different algorithms used on each device to calculate BFP. As described by Vasold et al. [31] Omron values were obtained from manufacturer-derived equations not available to the general public. Perhaps future research could improve the predictability of this device if the manufacturer allowed investigators access to the actual data used in its equations. Furthermore, factors such as the number of electrodes, the model, conductivity, electrode disposition, and external factors (food, hydration, menstrual period, and physical activity) could also contribute to differences in results between devices [32,33].

Strong points of this research included the evaluations were always carried out by the same duly trained evaluator, using the same device to track longitudinal changes in body composition, use of a high accuracy method (DXA), investigating the time of the last meal, physical activity, menstrual period, appropriate clothing for the evaluation, removal of adornments, and other accessories. Among the limitations, the failure to assess precision on the same day (technical error) and consecutive days (biological variation) stands out. Thus, further studies are recommended to investigate the concordance in more evaluations performed on the same day, on consecutive or non-consecutive days.

Our findings demonstrate that the AI-2D photo showed no significant difference in two-times and substantial agreement in both evaluated moments. AI-2D photo may have potential utility for tracking BC over time, particularly in contexts where purchasing or using a device such as DXA is impractical. Determining the concordance of BFP methods is important for quality control, interpretation of results, and monitoring of the individual's health and bodily changes. Studies that include more BC assessment equipment, as well as larger and specific populations, such as in disease situations and specific sports, to investigate the longitudinal agreement between body analysis methods.

Acknowledgment

The authors thank all the volunteers who participated in the research.

Support Sources: This work was supported by the Foundation Carlos Chagas Filho Research Support of the State of Rio de Janeiro (FAPERJ) process number: E-26/201.042/2021 and SEI260003/001172/2020; and by the Financial Agency of Studies and Projects (FINEP) process number: 0.1.18.0107.00 (PROINFRA).

Author contributions

Tathiany Jéssica Ferreira: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Research, Writing – original draft, Writing – revision and editing, Visualization. Carolina Ribeiro Pessanha: Conceptualization, Statistical analysis, Research, Writing – original draft, Writing – revision and editing, Visualization.

Igor Costa Salvador: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing – original draft, Writing – revision and editing, Visualization. Renata Romanelli Mollini da Silva: Research, Writing – proofreading and editing, Visualization. Maria Aderuza Horst: Writing – original draft, Writing – revision and editing. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci: Conceptualization, Methodology, Statistical analysis, Research, Writing – original draft, Writing – revision and editing, Supervision, Project administration, Acquisition of funding.

Authors Declarations: None.

References

- [1] Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research* 2018;148:648–58. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1777_18.
- [2] Marra M, Sammarco R, De Lorenzo A, Iellamo F, Siervo M, Pietrobelli A, et al. Assessment of body composition in health and disease using bioelectrical impedance analysis (bia) and dual energy x-ray absorptiometry (dxa): A critical overview. *Contrast Media Mol Imaging* 2019;2019:3548284. <https://doi.org/10.1155/2019/3548284>.
- [3] Holmes CJ, Racette SB. The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice: an overview of current methodology. *Nutrients* 2021;13:2493. <https://doi.org/10.3390/nu13082493>.
- [4] Rose GL, Farley MJ, Slater GJ, Ward LC, Skinner TL, Keating SE, et al. How body composition techniques measure up for reliability across the age-span. *Am J Clin Nutr* 2021;114:281–94. <https://doi.org/10.1093/AJCN/NQAB046>.

- [5] Kasper AM, Langan-evans C, Hudson JF, Brownlee TE, Harper LD, Naughton RJ, et al. Come back skinfolds, all is forgiven: A narrative review of the efficacy of common body composition methods in applied sports practice. *Nutrients* 2021;13:1075. <https://doi.org/10.3390/nu13041075>.
- [6] Vasan SK, Osmond C, Canoy D, Christodoulides C, Neville MJ, Di Gravio C, et al. Comparison of regional fat measurements by dual-energy X-ray absorptiometry and conventional anthropometry and their association with markers of diabetes and cardiovascular disease risk. *International Journal of Obesity* 2018;42:850–7. <https://doi.org/10.1038/ijo.2017.289>.
- [7] Hind K, Oldroyd B. In-vivo precision of the GE Lunar iDXA densitometer for the measurement of appendicular and trunk lean and fat mass. *Eur J Clin Nutr* 2013;67:1331–3. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.210>.
- [8] Kogure GS, Silva RC, Ribeiro VB, Mendes MC, Menezes-Reis R, Ferriani RA, et al. Concordance in prediction body fat percentage of Brazilian women in reproductive age between different methods of evaluation of skinfolds thickness. *Arch Endocrinol Metab* 2020;64:257–68. <https://doi.org/10.20945/2359-3997000000246>.
- [9] Blue MNM, Tinsley GM, Ryan ED, Smith-Ryan AE. Validity of Body-Composition Methods across Racial and Ethnic Populations. *Advances in Nutrition* 2021;12:1854. <https://doi.org/10.1093/ADVANCES/NMAB016>.
- [10] Antonio J, Kenyon M, Ellerbroek A, Carson C, Burgess V, Tyler-Palmer D, et al. Comparison of Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA) Versus a Multi-Frequency Bioelectrical Impedance (InBody 770) Device for Body Composition Assessment after a 4-Week Hypoenergetic Diet. *J Funct Morphol Kinesiol* 2019;4:23. <https://doi.org/10.3390/JFMK4020023>.
- [11] Farina GL, Orlandi C, Lukaski H, Nescolarde L. Digital Single-Image Smartphone Assessment of Total Body Fat and Abdominal Fat Using Machine Learning. *Sensors (Basel)* 2022;22:8365. <https://doi.org/10.3390/S22218365>.
- [12] Klement RJ, Joos FT, Reuss-Borst MA, Kämmerer U. Measurement of body composition by DXA, BIA, Leg-to-leg BIA and near-infrared spectroscopy in

- breast cancer patients – comparison of the four methods. *Clin Nutr ESPEN* 2023;54:443–52. <https://doi.org/10.1016/J.CLNESP.2023.02.013>.
- [13] Higgins MI, Marquardt JP, Master VA, Fintelmann FJ, Psutka SP. Machine Learning in Body Composition Analysis. *Eur Urol Focus* 2021;7:713–6. <https://doi.org/10.1016/J.EUF.2021.03.013>.
- [14] Nana A, Staynor JMD, Arlai S, El-Sallam A, Dhungel N, Smith MK. Agreement of anthropometric and body composition measures predicted from 2D smartphone images and body impedance scales with criterion methods. *Obes Res Clin Pract* 2022;16:37–43. <https://doi.org/10.1016/J.ORCP.2021.12.006>.
- [15] Majmudar MD, Chandra S, Yakkala K, Kennedy S, Agrawal A, Sippel M, et al. Smartphone camera based assessment of adiposity: a validation study. *NPJ Digit Med* 2022;5:79. <https://doi.org/10.1038/s41746-022-00628-3>.
- [16] Sullivan K, Metoyer CJ, Hornikel B, Holmes CJ, Nickerson BS, Esco MR, et al. Agreement Between A 2-Dimensional Digital Image-Based 3-Compartment Body Composition Model and Dual Energy X-Ray Absorptiometry for The Estimation of Relative Adiposity. *Journal of Clinical Densitometry* 2022;25:244–51. <https://doi.org/10.1016/J.JOCD.2021.08.004>.
- [17] Achamrah N, Colange G, Delay J, Rimbart A, Folope V, Petit A, et al. Comparison of body composition assessment by DXA and BIA according to the body mass index: A retrospective study on 3655 measures. *PLoS One* 2018;13:e0200465. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200465>.
- [18] Dzator S, Weerasekara I, Shields M, Haslam R, James D. Agreement Between Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Bioelectric Impedance Analysis for Assessing Body Composition in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Clinical Journal of Sport Medicine* 2023;33:557–68. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001136>.
- [19] Schubert MM, Seay RF, Spain KK, Clarke HE, Taylor JK. Reliability and validity of various laboratory methods of body composition assessment in young adults. *Clin Physiol Funct Imaging* 2019;39:150–9. <https://doi.org/10.1111/CPF.12550>.

- [20] Alves SSA, Ohata EF, Sousa PC, Barroso CB, Nascimento NMM, Loureiro LL, et al. Sex-based approach to estimate human body fat percentage from 2D camera images with deep learning and machine learning. *Measurement* 2023;219:113213. <https://doi.org/10.1016/J.MEASUREMENT.2023.113213>.
- [21] Crabtree NJ, Arabi A, Bachrach LK, Fewtrell M, El-Hajj Fuleihan G, Kecskemethy HH, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry interpretation and reporting in children and adolescents: the revised 2013 ISCD Pediatric Official Positions. *J Clin Densitom* 2014;17:225–42. <https://doi.org/10.1016/J.JOCD.2014.01.003>.
- [22] Messina C, Albano D, Gitto S, Tofanelli L, Bazzocchi A, Olivieri FM, et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg* 2020;10:1687. <https://doi.org/10.21037/QIMS.2020.03.02>.
- [23] Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res* 1999;8:135–60. <https://doi.org/10.1177/096228029900800204>.
- [24] Lin LI. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989;45:255–68.
- [25] McBride GB. A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient. New Zealand: 2005.
- [26] Vicente-Rodríguez G, Rey-López JP, Mesana MI, Poortvliet E, Ortega FB, Polito A, et al. Reliability and Intermethod Agreement for Body Fat Assessment Among Two Field and Two Laboratory Methods in Adolescents. *Obesity* 2012;20:221–8. <https://doi.org/10.1038/OBY.2011.272>.
- [27] Talma H, Chinapaw MJM, Bakker B, Hirasings RA, Terwee CB, Altenburg TM. Bioelectrical impedance analysis to estimate body composition in children and adolescents: a systematic review and evidence appraisal of validity, responsiveness, reliability and measurement error. *Obes Rev* 2013;14:895–905. <https://doi.org/10.1111/OBR.12061>.

- [28] Koch B, Miller A, Glass NA, Owen E, Kirkpatrick T, Grossman R, et al. Reliability of Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis to Quantify Body Composition in Patients After Musculoskeletal Trauma. *Iowa Orthop J* 2022;42:75.
- [29] Siedler MR, Rodriguez C, Stratton MT, Harty PS, Keith DS, Green JJ, et al. Assessing the reliability and cross-sectional and longitudinal validity of fifteen bioelectrical impedance analysis devices. *Br J Nutr* 2023;130:827. <https://doi.org/10.1017/S0007114522003749>.
- [30] McLester CN, Nickerson BS, Kliszczewicz BM, McLester JR. Reliability and Agreement of Various InBody Body Composition Analyzers as Compared to Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Healthy Men and Women. *Journal of Clinical Densitometry* 2020;23:443–50. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.10.008>.
- [31] Vasold KL, Parks AC, Phelan DML, Pontifex MB, Pivarnik JM. Reliability and Validity of Commercially Available Low-Cost Bioelectrical Impedance Analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2019;29:406–10. <https://doi.org/10.1123/IJSNEM.2018-0283>.
- [32] Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis-part II: utilization in clinical practice. *Clin Nutr* 2004;23:1430–53. <https://doi.org/10.1016/J.CLNU.2004.09.012>.
- [33] Campa F, Toselli S, Mazzilli M, Gobbo LA, Coratella G. Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. *Nutrients* 2021;13:1620. <https://doi.org/10.3390/nu13051620>.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente tese teve dois manuscritos como principais produtos. As principais conclusões desses produtos foram:

i) A foto AI-2D apresentou a maior concordância e concordância substancial com DXA para avaliar o %GC em adultos na amostra geral, estratificados por sexo, idade e IMC em comparação com os métodos DC, US modo-A e BIA. Em relação aos dispositivos de BIA InBody-270 e o Omron HBF-514 apresentaram concordância moderada dependendo da faixa etária e IMC.

ii) A foto 2D não apresentou diferença significativa em dois tempos com a DXA e demonstrou concordância substancial em ambos os momentos avaliados. A foto 2D pode ter utilidade potencial para rastrear o %GC ao longo do tempo.

A avaliação da CC é uma importante ferramenta para o monitoramento do estado nutricional, bem como um determinante de saúde. Determinar a concordância dos métodos para estimar o %GC é importante para o controle de qualidade, interpretação dos resultados e monitoramento da saúde e das alterações corporais do indivíduo. Dessa forma, métodos rápidos, efetivos e de baixo custo que estimem os componentes corporais, como a gordura, de forma precisa, segura e acessível são relevantes.

Os resultados obtidos nessa tese de doutorado são inéditos em relação a diversidade de métodos de CC avaliados comparados a um modelo de referência em uma amostra ampla. Nossos resultados demonstraram que a foto AI-2D, um método recente de avaliação corporal pode ser intercambiável com DXA e é alternativo, prático, acessível e fácil de usar para estimar o %GC. Estas descobertas constituem uma contribuição valiosa para a implementação de métodos modernos de análise de CC na prática clínica. Além disso, os demais métodos não fornecem os mesmos resultados e concordância, devendo ser considerados a equação preditiva, o treinamento do avaliador, a calibração e os equipamentos utilizados, bem como preferências de avaliação, técnica e condições. Recomenda-se avaliar populações específicas, como praticantes de atividade física em diferentes níveis, mulheres na menopausa e condições clínicas.

REFERÊNCIAS

- ABASI, S. et al. Bioelectrical Impedance Spectroscopy for Monitoring Mammalian Cells and Tissues under Different Frequency Domains: A Review. **ACS Measurement Science Au**, v. 2, n. 6, p. 495, 12 dez. 2022.
- ABESO. Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica. **Diretrizes Brasileiras de obesidade**. 4. ed. São Paulo, SP. 2016.
- ACHAMRAH, N. et al. Comparison of body composition assessment by DXA and BIA according to the body mass index: A retrospective study on 3655 measures. **PLoS ONE**, v. 13, n. 7, p. e0200465, 1 jul. 2018.
- AKOGLU, H. User's guide to correlation coefficients. **Turkish Journal of Emergency Medicine**, v. 18, n. 3, p. 91, 1 set. 2018.
- ALVES, S. S. A. et al. Sex-based approach to estimate human body fat percentage from 2D camera images with deep learning and machine learning. **Measurement**, v. 219, p. 113213, 30 set. 2023.
- ARAGON, A. A. et al. International society of sports nutrition position stand: diets and body composition. **Journal of the International Society of Sports Nutrition** **2017 14:1**, v. 14, n. 1, p. 1–19, 14 jun. 2017.
- BACCHI, E. et al. Comparison between dual-energy X-ray absorptiometry and skinfold thickness in assessing body fat in overweight/obese adult patients with type-2 diabetes. **Scientific Reports** , v. 7, n. 1, p. 1–8, 12 dez. 2017.
- BAZZOCCHI, A. et al. DXA: Technical aspects and application. **European Journal of Radiology**, v. 85, n. 8, p. 1481–1492, 1 ago. 2016.
- BENITO, P. J. et al. Comparison between different methods for measuring body fat after a weight loss program. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 25, n. 6, p. 474–479, 11 nov. 2019.
- BENTZUR, K. M.; KRAVITZ, L.; LOCKNER, D. W. Evaluation of the BOD POD for estimating percent body fat in collegiate track and field female athletes: a

comparison of four methods. **Journal of strength and conditioning research**, v. 22, n. 6, p. 1985–1991, 2008.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. **Lancet (London, England)**, v. 346, n. 8982, p. 1085–1087, 21 out. 1995.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Measuring agreement in method comparison studies. **Statistical methods in medical research**, v. 8, n. 2, p. 135–160, abr. 1999.

BLUE, M. N. M. et al. Validity of the 4-compartment model using dual energy X-ray absorptiometry-derived body volume in overweight individuals. **Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme**, v. 43, n. 7, p. 742–746, 2018.

BLUE, M. N. M. et al. Validity of Body-Composition Methods across Racial and Ethnic Populations. **Advances in Nutrition**, v. 12, n. 5, p. 1854, 1 set. 2021.

BOOTH, R. A. D.; GODDARD, B. A.; PATON, A. Measurement of fat thickness in man: a comparison of ultrasound, Harpenden calipers and electrical conductivity. **The British journal of nutrition**, v. 20, n. 4, p. 719–725, dez. 1966.

BROŽEK, J. et al. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 110, n. 1, p. 113–140, 1963.

BULLEN, B. et al. Ultrasonic reflections used for measuring subcutaneous fat in humans - PubMed. **Human biology**, v. 37, n. 4, p. 375–384, 1965.

BUXADÉ, C. P. C. et al. Assessing subcutaneous adipose tissue by simple and portable field instruments: Skinfolds versus A-mode ultrasound measurements. **PloS one**, v. 13, n. 11, 1 nov. 2018.

CAMPA, F. et al. Assessment of body composition in athletes: A narrative review of available methods with special reference to quantitative and qualitative bioimpedance analysis. **Nutrients**, v. 13, n. 5, p. 1620, 1 maio 2021.

CASADEI, K.; KIEL, J. Anthropometric Measurement. Em: **StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2022.**

CEDILLO, Y. E. et al. Body fat percentage assessment using skinfold thickness agrees with measures obtained by DXA scan in African American and Caucasian American women. **Nutrition Research**, v. 105, p. 154–162, 1 set. 2022.

CHAMBERS, A. J. et al. A Comparison of Prediction Equations for the Estimation of Body Fat Percentage in Non-obese and Obese Older Caucasian Adults in the United States. **The journal of nutrition, health & aging**, v. 18, n. 6, p. 586, 2014.

CLARYS, J.; MARFELL-JONES, M. Anatomical segmentation in humans and the prediction of segmental masses from intra-segmental anthropometry. **Human biology**, v. 58, n. 5, p. 771–782, 1986.

CLARYS, J. P. et al. The skinfold: Myth and reality. **Journal of Sports Sciences**, v. 5, n. 1, p. 3–33, 1987.

CRABTREE, N. J. et al. Dual-energy X-ray absorptiometry interpretation and reporting in children and adolescents: the revised 2013 ISCD Pediatric Official Positions. **Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry**, v. 17, n. 2, p. 225–242, 2014.

DA SILVA, L. **An introduction to ultrasound and the bodymetrix system.** Livermore, California. 2010.

DE SOUZA, J. W. M. et al. Predicting body measures from 2D images using Convolutional Neural Networks. **Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks**, 1 jul. 2020.

DE SOUZA, R. G. M. et al. Métodos de análise da composição corporal em adultos obesos. **Revista de Nutrição**, v. 27, n. 5, p. 569–583, 2014.

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. 105–114, mar. 1991.

DOĞAN, N. Ö. Bland-Altman analysis: A paradigm to understand correlation and agreement. **Turkish journal of emergency medicine**, v. 18, n. 4, p. 139–141, 1 dez. 2018.

DUREN, D. L. et al. Body composition methods: comparisons and interpretation. **Journal of diabetes science and technology**, v. 2, n. 6, p. 1139–1146, 2008.

DURNIN, J. V. G. A.; WOMERSLEY, J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 Years. **British Journal of Nutrition**, v. 32, n. 01, p. 77–97, jul. 1974.

FANELLI, M. T.; KUCZMARSKI, R. J. Ultrasound as an approach to assessing body composition. **The American journal of clinical nutrition**, v. 39, n. 5, p. 703–709, 1984.

FEDEWA, M. V. et al. Accuracy of a Mobile 2D Imaging System for Body Volume and Subsequent Composition Estimates in a Three-Compartment Model. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 53, n. 5, p. 1003, 5 maio 2021.

FERRI-MORALES, A. et al. Agreement Between Standard Body Composition Methods to Estimate Percentage of Body Fat in Young Male Athletes. **Pediatric exercise science**, v. 30, n. 3, p. 402–410, 1 ago. 2018.

FLEGAL, K. M. et al. Comparisons of percentage body fat, body mass index, waist circumference, and waist-stature ratio in adults. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 89, n. 2, p. 500, 1 fev. 2009.

FORBES, R.; COOPER, A.; MITCHELL, H. The composition of the adult human body as determined by chemical analysis. **Journal of biological chemistry**, v. 203, n. 1, p. 359–366, 1953.

GÁBA, A. et al. Comparison of multi- and single-frequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of body composition in post-menopausal women: effects of body mass index and accelerometer-determined physical activity. **Journal of human nutrition and**

dietetics : the official journal of the British Dietetic Association, v. 28, n. 4, p. 390–400, 1 ago. 2015.

GALLAGHER, D. et al. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 72, n. 3, p. 694–701, 2000.

GIAVARINA, D. Understanding Bland Altman analysis. **Biochemia medica**, v. 25, n. 2, p. 141–151, 2015.

GOLJA, P. et al. Direct Comparison of (Anthropometric) Methods for the Assessment of Body Composition. **Annals of nutrition & metabolism**, v. 76, n. 3, p. 183–192, 1 out. 2020.

GUEDES, D. **Estudo da gordura corporal através da mensuração dos valores de densidade corporal e espessura de dobras cutâneas em universitários**. Universidade Federal de Santa Maria, 1985.

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

HAGHAYEGH, S. et al. A comprehensive guideline for Bland-Altman and intra class correlation calculations to properly compare two methods of measurement and interpret findings. **Physiological measurement**, v. 41, n. 5, 1 maio 2020.

HAMILTON-JAMES, K. et al. Precision and accuracy of bioelectrical impedance analysis devices in supine versus standing position with or without retractable handle in Caucasian subjects. **Clinical Nutrition ESPEN**, v. 45, p. 267–274, 1 out. 2021.

HEYMSFIELD, S. B. et al. Multi-component molecular-level body composition reference methods: Evolving concepts and future directions. **Obesity Reviews**, v. 16, n. 4, p. 282–294, 1 abr. 2015.

HIGGINS, M. I. et al. Machine Learning in Body Composition Analysis. **European Urology Focus**, v. 7, n. 4, p. 713–716, 1 jul. 2021.

HO, S. Y.; LAM, T. H.; JANUS, E. D. Waist to stature ratio is more strongly associated with cardiovascular risk factors than other simple anthropometric indices. **Annals of Epidemiology**, v. 13, n. 10, p. 683–691, 1 nov. 2003.

HOLMES, C. J.; RACETTE, S. B. The utility of body composition assessment in nutrition and clinical practice: an overview of current methodology. **Nutrients**, v. 13, n. 8, p. 2493, 1 ago. 2021.

HO-PHAM, L. T. et al. Relationship between Body Mass Index and Percent Body Fat in Vietnamese: Implications for the Diagnosis of Obesity. **PLoS ONE**, v. 10, n. 5, 1 maio 2015.

HUME, P. A.; ACKLAND, T. Physical and Clinical Assessment of Nutritional Status. Em: **Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease**. [s.l.] Elsevier, 2017. v. 4p. 71–84.

HUME, P.; MARFELL-JONES, M. The importance of accurate site location for skinfold measurement. **Journal of Sports Sciences**, v. 26, n. 12, p. 1333–1340, 2008.

HURT, R. T. et al. The Comparison of Segmental Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis and Dual-Energy X-ray Absorptiometry for Estimating Fat Free Mass and Percentage Body Fat in an Ambulatory Population. **JPEN. Journal of parenteral and enteral nutrition**, v. 45, n. 6, p. 1231–1238, 1 ago. 2021.

HYNDMAN, R. J.; KOEHLER, A. B. Another look at measures of forecast accuracy. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 4, p. 679–688, 1 out. 2006.

JACKSON, A.; POLLOCK, M.; WARD, A. Generalized equations for predicting body density of women. **Med Sci Sports Exerc**, v. 12, p. 175–182, 1980.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal of Nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497–504, nov. 1978.

JANSSENS, V. et al. Post-mortem limitations of body composition analysis by computed tomography. **Ergonomics**, v. 37, n. 1, p. 207–216, 1994.

JAYEDI, A. et al. Body fat and risk of all-cause mortality: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. **International Journal of Obesity** **2022** **46:9**, v. 46, n. 9, p. 1573–1581, 18 jun. 2022.

JOHNSON, K. E. et al. Agreement between ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry in assessing percentage body fat in college-aged adults. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 34, n. 6, p. 493–496, 1 nov. 2014.

JOHNSON, K. E. et al. A comparison of dual-energy X-ray absorptiometry, air displacement plethysmography and A-mode ultrasound to assess body composition in college-age adults. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 37, n. 6, p. 646–654, 1 nov. 2017.

KASPER, A. M. et al. Come back skinfolds, all is forgiven: A narrative review of the efficacy of common body composition methods in applied sports practice. **Nutrients**, v. 13, n. 4, p. 1075, 1 abr. 2021.

KATCH, F. I.; MCARDLE, W. D. Prediction of body density from simple anthropometric measurements in college-age men and women. **Human Biology**, v. 45, n. 3, p. 445–455, 1973.

KENDLER, D. L. et al. The Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry: Indications of Use and Reporting of DXA for Body Composition. **Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry**, v. 16, n. 4, p. 496–507, out. 2013.

KOGURE, G. S. et al. Concordance in prediction body fat percentage of Brazilian women in reproductive age between different methods of evaluation of skinfolds thickness. **Archives of endocrinology and metabolism**, v. 64, n. 3, p. 257–268, 1 maio 2020.

KURIYAN, R. Body composition techniques. **Indian Journal of Medical Research**, v. 148, n. 5, p. 648–658, 1 nov. 2018.

KYLE, U. G. et al. Body composition interpretation: Contributions of the fat-free mass index and the body fat mass index. **Nutrition**, v. 19, n. 7–8, p. 597–604, 1 jul. 2003.

LAHAV, Y.; GOLDSTEIN, N.; GEPNER, Y. Comparison of body composition assessment across body mass index categories by two multifrequency bioelectrical impedance analysis devices and dual-energy X-ray absorptiometry in clinical settings. **European journal of clinical nutrition**, v. 75, n. 8, p. 1275–1282, 1 ago. 2021.

LEAHY, S. et al. Ultrasound measurement of subcutaneous adipose tissue thickness accurately predicts total and segmental body fat of young adults. **Ultrasound in medicine & biology**, v. 38, n. 1, p. 28–34, jan. 2012.

LEAN, M. E. J.; HAN, T. S.; DEURENBERG, P. Predicting body composition by densitometry from simple anthropometric measurements. **The American journal of clinical nutrition**, v. 63, n. 1, p. 4–14, 1996.

LEMONS, T.; GALLAGHER, D. Current body composition measurement techniques. **Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity**, v. 24, n. 5, p. 310–314, 2017.

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

LIU, P. et al. The utility of fat mass index vs. body mass index and percentage of body fat in the screening of metabolic syndrome. **BMC Public Health**, v. 13, n. 1, p. 1–8, 3 jul. 2013.

LUKASKI, H. C. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 46, n. 4, p. 537–556, 1 out. 1987.

MACDONALD, E. Z. et al. Validity and Reliability of Assessing Body Composition Using a Mobile Application. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 49, n. 12, p. 2593–2599, 1 dez. 2017.

MACIAS, N. et al. Accuracy of body fat percent and adiposity indicators cut off values to detect metabolic risk factors in a sample of Mexican adults. **BMC public health**, v. 14, n. 1, 10 abr. 2014.

MAJMUDAR, M. D. et al. Smartphone camera based assessment of adiposity: a validation study. **npj Digital Medicine**, v. 5, n. 1, p. 79, 29 dez. 2022.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting: methods and applications**. 3. ed. New York: Wiley, 1998.

MARFELL-JONES, M. et al. **International standards for anthropometric assessment**. Potchefstroom, South Africa: International Society for the Advancement of Kinanthropometry - ISAK, 2006.

MARRA, M. et al. Assessment of body composition in health and disease using bioelectrical impedance analysis (bia) and dual energy x-ray absorptiometry (dxa): A critical overview. **Contrast Media and Molecular Imaging**, v. 2019, p. 3548284, 2019.

MARTIN, A. et al. Prediction of body fat by skinfold caliper: assumptions and cadaver evidence. **International journal of obesity**, p. 31–39, 1985.

MARTIN, A. D.; DRINKWATER, D. T. Variability in the Measures of Body Fat Assumptions or Technique? **Sports Medicine**, v. 11, n. 5, p. 277–288, 1991.

MARTIN, A.; DRINKWATER, D.; CLARYS, J. Human body surface area: validation of formulae based on a cadaver study. **Human biology**, v. 56, n. 3, p. 475–488, 1984.

MCBRIDE, G. B. **A proposal for strength-of-agreement criteria for Lin's Concordance Correlation Coefficient**. New Zealand. 2005

MESSINA, C. et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. **Quantitative Imaging in Medicine and Surgery**, v. 10, n. 8, p. 1687, 1 ago. 2020.

MICLOS-BALICA, M. et al. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. **European Journal of Clinical Nutrition**, v. 75, n. 3, p. 438–445, 2021.

MITCHELL, H. H. et al. The chemical composition of the adult human body and its bearing on the biochemistry of growth. **Journal of Biological Chemistry**, v. 158, n. 3, p. 625–637, maio 1945.

MOON, J. R. et al. Estimating body fat in NCAA Division I female athletes: A five-compartment model validation of laboratory methods. **European Journal of Applied Physiology**, v. 105, n. 1, p. 119–130, 21 out. 2009.

MOORE, F. et al. The skeleton as a feature of body composition. Values predicted by isotope dilution and observed by cadaver dissection in an adult human female. **Human biology**, v. 40, n. 2, p. 135–188, 1968.

MUNTEAN, P. et al. Using A-Mode Ultrasound to Assess the Body Composition of Soccer Players: A Comparative Study of Prediction Formulas. **Diagnostics**, v. 13, n. 4, 1 fev. 2023.

NAGAMINE, S.; SUZUKI, S. Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. **Human Biology**, v. 36, p. 8–15, 1964.

NANA, A. et al. Agreement of anthropometric and body composition measures predicted from 2D smartphone images and body impedance scales with criterion methods. **Obesity Research & Clinical Practice**, v. 16, n. 1, p. 37–43, 1 jan. 2022.

NICKERSON, B. S. et al. Validity of Selected Bioimpedance Equations for Estimating Body Composition in Men and Women: A Four-Compartment Model Comparison. **Journal of strength and conditioning research**, v. 31, n. 7, p. 1963–1972, 1 jul. 2017a.

NICKERSON, B. S. et al. Impact of Measured vs. Predicted Residual Lung Volume on Body Fat Percentage Using Underwater Weighing and 4-Compartment Model. **Journal of strength and conditioning research**, v. 31, n. 9, p. 2519–2527, 1 set. 2017b.

NICKERSON, B. S. et al. Validity of Four-Compartment Model Body Fat In Physically Active Men And Women When Using DXA For Body Volume. **International journal of sport nutrition and exercise metabolism**, v. 27, n. 6, p. 520–527, 1 dez. 2017c.

NICKERSON, B. S. et al. Validity of BMI-Based Body Fat Equations in Men and Women: A 4-Compartment Model Comparison. **Journal of strength and conditioning research**, v. 32, n. 1, p. 121–129, 1 jan. 2018.

NICKERSON, B. S. et al. The relative accuracy of skinfolds compared to four-compartment estimates of body composition. **Clinical Nutrition**, v. 39, n. 4, p. 1112–1116, 1 abr. 2020.

NICKERSON, B. S.; TINSLEY, G. M. Utilization of BIA-Derived Bone Mineral Estimates Exerts Minimal Impact on Body Fat Estimates via Multicompartment Models in Physically Active Adults. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 21, n. 4, p. 541–549, 1 out. 2018.

PARK, S. K. et al. Body fat percentage, obesity, and their relation to the incidental risk of hypertension. **Journal of clinical hypertension (Greenwich, Conn.)**, v. 21, n. 10, p. 1496–1504, 1 out. 2019.

PETROSKI, E. **Desenvolvimento e validação de equações generalizadas para a estimativa da densidade corporal em adultos**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Maria, 1995.

RAMÍREZ-VÉLEZ, R. et al. Percentage of Body Fat and Fat Mass Index as a Screening Tool for Metabolic Syndrome Prediction in Colombian University Students. **Nutrients**, v. 9, n. 9, 13 set. 2017.

RAVINDRANATH, J. et al. Body Fat Analysis in Predialysis Chronic Kidney Disease: Multifrequency Bioimpedance Assay and Anthropometry Compared With Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. **Journal of renal nutrition: the official journal of the Council on Renal Nutrition of the National Kidney Foundation**, v. 26, n. 5, p. 315–319, 1 set. 2016.

ROCKAMANN, R. A. et al. Validity of Arm-to-Arm BIA Devices Compared to DXA for Estimating % Fat in College Men and Women. **International Journal of Exercise Science**, v. 10, n. 7, p. 977–988, 2017.

ROTHMAN, K. J. BMI-related errors in the measurement of obesity. **International journal of obesity (2005)**, v. 32 Suppl 3, p. S56–S59, 2008.

SHEPHERD, J. A. et al. Body composition by DXA. **Bone**, v. 104, p. 101–105, 1 nov. 2017.

SILVA, M. M. DA; CARVALHO, R. S. M. DE; FREITAS, M. B. DE. Bioimpedância para avaliação da composição corporal: uma proposta didático-experimental para estudantes da área da saúde. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 2, 23 nov. 2018.

SILVEIRA, E. A. et al. Body fat percentage assessment by skinfold equation, bioimpedance and densitometry in older adults. **Archives of Public Health**, v. 78, n. 1, 18 jul. 2020.

SIRI, W. E. **Body composition from fluid spaces and density: analyses of methods; in: Techniques for measuring body composition**. [s.l.] Washington DC, Natl Acad. Sci. National Res. Council, 1961. v. 9

SLOAN, A. W. Estimation of body fat in young men. **Journal of applied physiology**, v. 23, n. 3, p. 311–315, 1967.

SLOGAN, A. W.; BURT, J. J.; BLYTH, C. S. Estimation of body fat in young women. **Journal of applied physiology**, v. 17, p. 967–970, nov. 1962.

SMITH-RYAN, A. E. et al. Validity and reliability of a 4-compartment body composition model using dual energy x-ray absorptiometry-derived body volume. **Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)**, v. 36, n. 3, p. 825–830, 1 jun. 2017.

SULLIVAN, K. et al. Agreement Between A 2-Dimensional Digital Image-Based 3-Compartment Body Composition Model and Dual Energy X-Ray Absorptiometry for The Estimation of Relative Adiposity. **Journal of Clinical Densitometry**, v. 25, n. 2, p. 244–251, 1 abr. 2022.

TIAN, I. Y. et al. Predicting 3D body shape and body composition from conventional 2D photography. **Medical Physics**, v. 47, n. 12, p. 6232–6245, 1 dez. 2020.

TINSLEY, G. M. Proportional bias between dual-energy x-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis varies based on sex in active adults consuming high- and low-carbohydrate diets. **Nutrition research**, v. 42, p. 85–100, 1 jun. 2017.

TINSLEY, G. M. et al. Fat-free Mass Characteristics of Muscular Physique Athletes. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 51, n. 1, p. 193–201, 1 jan. 2019.

TOOMBS, R. J. et al. The impact of recent technological advances on the trueness and precision of DXA to assess body composition. **Obesity (Silver Spring, Md.)**, v. 20, n. 1, p. 30–39, jan. 2012.

TRAN, Z. V.; WELTMAN, A. Generalized equation for predicting body density of women from girth measurements. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 21, n. 1, p. 101–104, 1989.

WAGNER, D. R. Ultrasound as a tool to assess body fat. **Journal of Obesity**, v. 2013, p. 280713, 2013.

WAGNER, D. R.; TERAMOTO, M. Interrater reliability of novice examiners using A-mode ultrasound and skinfolds to measure subcutaneous body fat. **Plos one**, v. 15, n. 12, p. 1–10, 2020.

WANG, B.; TORRIANI, M. Artificial Intelligence in the Evaluation of Body Composition. **Seminars in musculoskeletal radiology**, v. 24, n. 1, p. 30–37, 2020.

WANG, Z. et al. Multicomponent methods: evaluation of new and traditional soft tissue mineral models by in vivo neutron activation analysis 1-3. **American journal of clinical nutrition**, v. 76, p. 968–74, 2002.

WANG, Z. M. et al. Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 69, n. 5, p. 833–841, 1 maio 1999.

WANG, Z.-I.; PIERSON, R. N.; HEYMS, S. B. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research¹2. **American journal of clinical nutrition**, v. 56, n. 1, p. 19–28, 1992.

WARD, L. C. Bioelectrical impedance analysis for body composition assessment: reflections on accuracy, clinical utility, and standardisation. **European journal of clinical nutrition**, v. 73, n. 2, p. 194–199, 1 fev. 2019.

WELTMAN, A. et al. Accurate assessment of body composition in obese females. **The American journal of clinical nutrition**, v. 48, n. 5, p. 1179–1183, 1988.

WELTMAN, A.; SEIP, R. L.; TRAN, Z. V. Practical assessment of body composition in adult obese males. **Human Biology**, v. 59, n. 3, p. 523–555, 1987.

WHO. Physical status : the use of and interpretation of anthropometry , report of a WHO expert committee. **World Health Organization**, 1995.

WHO. Obesity : preventing and managing the global epidemic : report of a WHO consultation. **World Health Organization**, 1998.

WHO. **A healthy lifestyle - WHO recommendations**. Disponível em: <<https://www.who.int/europe/news-room/fact-sheets/item/a-healthy-lifestyle---who-recommendations>>. Acesso em: 8 mar. 2023.

WIDDOWSON, E.; MCCANCE, R.; SPRAY, C. The chemical composition of the human body. **Clinical science**, v. 10, n. 1, p. 113–125, 1951.

WILMORE, J. H.; BEHNKE, A. R. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. **Journal of applied physiology**, v. 27, n. 1, p. 25–31, 1969.

WILMORE, J. H.; BEHNKE, A. R. An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women. **The American journal of clinical nutrition**, v. 23, n. 3, p. 267–274, 1970.

WILSON, J. P.; FAN, B.; SHEPHERD, J. A. Total and regional body volumes derived from dual-energy X-ray absorptiometry output. **Journal of clinical densitometry : the official journal of the International Society for Clinical Densitometry**, v. 16, n. 3, p. 368–373, jul. 2013.

World Obesity Atlas 2023 | World Obesity Federation. Disponível em: <<https://www.worldobesity.org/resources/resource-library/world-obesity-atlas-2023>>. Acesso em: 5 dez. 2023.

ZAKI, R. et al. Statistical Methods Used to Test for Agreement of Medical Instruments Measuring Continuous Variables in Method Comparison Studies: A Systematic Review. **PLoS ONE**, v. 7, n. 5, 25 maio 2012.

ANEXOS

ANEXO 1. PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes.

Pesquisador: Tathiany Jéssica Ferreira

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 53480021.2.0000.5257

Instituição Proponente: Instituto de Nutrição Josué de Castro

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio
FUN CARLOS CHAGAS F. DE AMPARO A PESQUISA DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO - FAPERJ
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.271.068

Apresentação do Projeto:

Trata-se de pesquisa comparativa entre métodos de avaliação da composição corporal, frequentemente utilizada na prática clínica para avaliação e monitoramento nutricional.

Objetivo da Pesquisa:

Avaliar a concordância entre a densitometria óssea (padrão ouro) e os diferentes métodos existentes para avaliação da composição corporal e conteúdo/densidade mineral ósseo. Avaliar a concordância entre as balanças de bioimpedância; Avaliar a concordância entre ultrassom e dobra cutânea, por serem métodos dependentes do avaliador; Avaliar a concordância entre os perímetros mensurados pelo avaliador e pelo sistema de visão computacional; Criar um perfil antropométrico da população avaliada; Investigar possíveis variáveis interferentes na concordância entre os métodos; Desenvolver uma equação para estimativa do conteúdo/densidade mineral ósseo de acordo com os dados de diâmetro e resultados obtidos por absorciometria de raio-X de dupla energia (DXA); Desenvolver uma equação para estimativa do percentual de gordura de acordo com os dados de perímetros, espessura de gordura e resultados obtidos por DXA.

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária **CEP:** 21.941-913
UF: RJ **Município:** RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 **Fax:** (21)3938-2481 **E-mail:** cep@hucff.ufrj.br

**UFRJ - HOSPITAL
 UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
 FRAGA FILHO DA
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO
 RIO DE JANEIRO / HUCFF-
 UFRJ**



Continuação do Parecer: 5.271.000

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Com relação a eventuais desconfortos, o sujeito da pesquisa poderá, eventualmente, se sentir moderadamente envergonhado (a) no momento da realização da pesquisa. Como forma de minimizar esse desconforto, os procedimentos serão todos conduzidos por um profissional especializado em um espaço reservado e estruturado. Durante todo o período da pesquisa e na divulgação dos resultados, a privacidade do participante será respeitada, ou seja, nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de alguma forma, identificar o mesmo, ser mantido em sigilo. A exposição resultante do exame DXA, a partir de uma análise de corpo inteiro, é relativamente pequena (~ 0,3 Sv) e é menor do que a inevitável exposição diária a radiação (~2,0 Sv/24 h) e muito inferior a outros exames, como rai-x (50 Sv), tomografia computadorizada da pélvis (5,000 Sv) e mamografia (130 Sv). Para garantir a confidencialidade e a anonimização dos dados, todas as informações serão codificadas e armazenadas em banco de dados criptografado. Caso o sujeito da pesquisa decida participar dessa pesquisa, ganhará a análise corporal gratuita feita pelo método de perímetros e dobras cutâneas, BIA e DXA. Contribuirá para a avaliação da concordância dos métodos utilizados na prática clínica, no possível desenvolvimento de equações para estimar percentual de gordura, conteúdo mineral ósseo e densidade mineral óssea para a população brasileira utilizando variáveis simples e que não dependam de métodos caros e inacessíveis, além de participar da análise antropométrica da população.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa clínica observacional, transversal, que avaliará a concordância entre a densitometria óssea e outros métodos existentes para avaliação dos componentes corporais em adultos brasileiros.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Todos os termos necessários foram apresentados.

Recomendações:

Recomendo o aceite do projeto pelo CEP e recomendo que a pesquisadora não se esqueça de inserir os relatórios semestrais dos resultados da pesquisa na plataforma Brasil.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Todas as pendências apontadas anteriormente foram atendidas.

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
 UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
 Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cep@hucff.ufrj.br

**UFRJ - HOSPITAL
 UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
 FRAGA FILHO DA
 UNIVERSIDADE FEDERAL DO
 RIO DE JANEIRO / HUCFF-
 UFRJ**


Continuação do Parecer: 5.271.068

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BASICAS_DO_PROJETO_1857720.pdf	04/02/2022 17:31:07		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	7_TCLE_versao2.pdf	04/02/2022 17:25:08	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Cronograma	10_previsao_do_cronograma_de_execucao_assinado_versao2.pdf	04/02/2022 17:24:18	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Folha de Rosto	folhaDeRosto.pdf	04/02/2022 17:20:31	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	adequacoes_de_pendencias.pdf	04/02/2022 17:19:36	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Cronograma	10_previsao_do_cronograma_de_execucao_sem_assinatura_versao2.docx	04/02/2022 17:18:20	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Orçamento	9_orcamento_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:22:26	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Orçamento	9_orcamento_assinado.pdf	12/11/2021 21:21:08	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	8_Projeto_detalhado.pdf	12/11/2021 21:20:43	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	6_Questionario.pdf	12/11/2021 21:18:43	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	5_Curriculos_dos_pesquisadores.pdf	12/11/2021 21:18:02	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Pesquisadores	4_Termo_de_compromisso_sem_assinatura.doc	12/11/2021 21:17:22	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Pesquisadores	4_Termo_de_compromisso_assinado.pdf	12/11/2021 21:16:45	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	3_Termo_de_infraestrutura_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:16:09	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	3_Termo_de_infraestrutura_assinado.pdf	12/11/2021 21:15:38	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito
Outros	2_CartadeConcordanciaDoDiretor_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:15:18	Tathiany Jéssica Ferrelra	Aceito

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
 Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
 UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
 Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cep@hucff.ufrj.br

UFRJ - HOSPITAL
UNIVERSITÁRIO CLEMENTINO
FRAGA FILHO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO
RIO DE JANEIRO / HUCFF-
UFRJ



Continuação do Parecer: 5.271.060

Declaração de concordância	2_CartadeConcordanciaDoDiretor_assinada.pdf	12/11/2021 21:13:13	Tathiany Jessica Ferreira	Acelto
Outros	1_Carta_de_apresentacao_sem_assinatura.docx	12/11/2021 21:12:57	Tathiany Jessica Ferreira	Acelto
Outros	1_Carta_de_apresentacao_assinado.pdf	12/11/2021 21:12:09	Tathiany Jessica Ferreira	Acelto

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 03 de Março de 2022

Assinado por:
Marta Guimarães Cavalcanti
(Coordenador(a))

Endereço: Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco Nº255, 7º andar, Ala E
Bairro: Cidade Universitária CEP: 21.941-913
UF: RJ Município: RIO DE JANEIRO
Telefone: (21)3938-2480 Fax: (21)3938-2481 E-mail: cnp@hucff.ufrj.br

ANEXO 2. PANFLETO DE DIVULGAÇÃO DA PESQUISA



PARTICIPE DO ESTUDO: AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL



Avaliação com os métodos mais utilizados,
incluindo o DXA 🏆
Método padrão ouro para avaliação corporal



antropometria



bioimpedância



DXA

Gratuito

Critérios: Ter entre 18 e 65 anos

Entrega de relatório com descrição de massa magra, massa gorda e massa óssea

**Localização: UFRJ Ilha do Fundão -
Centro de Ciências em Saúde (CCS)**

Curtiu? Mande uma mensagem para
📱 (62) 982769055 ou acesse o QRcode ao
lado e participe!



ANEXO 3. TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você está sendo convidado a participar como voluntário (a) da pesquisa intitulada **“Avaliação antropométrica da população adulta brasileira: análise dos componentes corporais por diversos métodos existentes”**.

Meu nome é Anna Paola Trindade Rocha Pierucci, sou nutricionista, professora adjunta do Instituto de Nutrição Josué de Castro da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e pesquisadora responsável por este estudo. Este documento contém informações importantes sobre a pesquisa. Peço para que leia com bastante atenção, converse com o pesquisador responsável, com pessoas de sua confiança e pense o tempo que for necessário para tomar a decisão de participar ou não desta pesquisa. Se aceitar fazer parte do estudo, assine todas as folhas no final do documento que está em duas vias (uma das vias é sua e a outra deverá ficar comigo).

Em caso de dúvida, você poderá consultar os pesquisadores responsáveis pelo projeto: Prof^ª. Dr^ª. Anna Paola Trindade Rocha Pierucci, no laboratório DAFEE localizado no Centro de Ciências da Saúde, Campus Fundão – UFRJ. Av. Carlos Chagas Filho, 373, Bloco J, Subsolo, 08 – Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-590 de forma presencial, por telefone (21) 2562 6697, ou e-mail: pierucci@nutricao.ufrj.br ou Ms. Tathiany Jéssica Ferreira por meio do telefone (21) 988316080 ou e-mail: tathijessica@outlook.com. Havendo necessidade, será possível, ainda, entrar em contato com o Comitê de Ética do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho da UFRJ, Rua Prof. Rodolpho Paulo Rocco, 255, 7º. Andar, Ala E, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, ou pelo telefone 3938-2480, de segunda a sexta-feira, das 8 às 16 horas, ou através do e-mail: cep@hucff.ufrj.br. O Comitê de Ética em Pesquisa é um órgão que controla as questões éticas das pesquisas na instituição (UFRJ) e tem como uma das principais funções proteger os participantes da pesquisa de qualquer problema.

INFORMAÇÕES IMPORTANTES SOBRE A PESQUISA

Antropometria é um ramo da antropologia que estuda as medidas e dimensões das diversas partes do corpo humano. Existem métodos considerados padrão ouro para a avaliação da composição corporal (CC) como a absorptometria de raio-X de dupla energia (DXA), ressonância magnética e tomografia computadorizada. O uso do DXA aumentou

ao longo da última década. O teste ocorre durante cinco minutos, com o participante deitado em uma plataforma de digitalização, enquanto o detector com uma fonte de raios-X passa por cima dele de forma retilínea. No entanto, são limitados a ambientes médicos e de pesquisa devido ao alto custo do equipamento, operação, manutenção e de sua natureza não portátil.

Em contraste, existem outros métodos menos dispendiosos e de fácil execução como Bioimpedância (BIA), ultrassom (US), medidas de dobras cutâneas (DC) e visão computacional associada à inteligência artificial (VC). Apesar desses métodos serem os mais utilizados na prática clínica e possuírem grande relevância na análise de variáveis relacionadas a saúde do paciente, podem possuir alto grau de discordância com o método padrão ouro. Os dispositivos de BIA têm precisão limitada, em grande parte devido a várias suposições errôneas, como a hidratação constante dos tecidos magros. Já os resultados obtidos por US e DC podem variar devido ao nível de habilidades do avaliador.

Recentemente, o uso da inteligência artificial e visão computacional permite a criação de sistemas que conseguem avaliar a composição corporal por meio de sinais digitais obtidos por fotos. O interesse por essa tecnologia na avaliação da composição corporal vêm ganhando destaque como forma de reduzir o erro humano da medida e acelerar o tempo de análise, porém ainda depende da qualidade das fotos utilizadas.

Dessa forma, apesar da disponibilidade de diversos métodos capazes de mensurar a composição corporal, a validação desses métodos ainda é necessária, devido a erros humanos no processo de coleta ou a limitações dos métodos. Portanto, este trabalho busca avaliar a acurácia dos métodos de BIA, US, DC e VC disponíveis no mercado para avaliação da composição corporal da população.

PROCEDIMENTOS NECESSÁRIOS

Caso você decida participar da pesquisa, será realizado alguns procedimentos com tempo total de 30 minutos no dia da avaliação. Os procedimentos serão:

1. (10 minutos) **Avaliação antropométrica:** Realizar as medições de perímetros corporais, dobras cutâneas e diâmetros ósseos, utilizando fita métrica, plicômetro e paquímetro
2. (4 minutos) **Fotografias:** A captura de fotografias digitais em um ambiente reservado, estruturado, e individual no qual haverá uma câmera em um tripé e serão tiradas fotos com os seguintes padrões:

- a. Imagem frontal, é importante que os braços direitos e esquerdos fiquem mais próximos de 45° em relação ao tronco e as pernas estejam espaçadas.
 - b. Imagem traseira, é importante que os braços direitos e esquerdos fiquem mais próximos de 45° em relação ao tronco e as pernas estejam espaçadas.
 - c. Imagem lado direito, é importante que o braço direito fique mais próximo de 90° em relação ao tronco e que o braço esquerdo e a perna esquerda estejam escondidos.
 - d. Imagem lado esquerdo, é importante que o braço esquerdo fique mais próximo de 90° em relação ao tronco e que o braço direito e a perna direita estejam escondidos.
 - e. Com relação a vestimenta para captura das fotos: homens vestidos com sunga ou short curto colado; mulheres de top e short curto colado.
3. (3 minutos) **Bioimpedância:** Realizar exame de bioimpedância em equipamentos diferentes, seguindo o mesmo protocolo de vestimenta para realização do exame de DXA.
 4. (3 minutos) **Ultrassonografia:** Realizar exame de ultrassonografia nos locais das dobras cutâneas para mensuração da espessura de gordura
 5. (8 minutos) **DXA:** Realizar um exame DXA que leva 5 minutos e determina a composição corporal do corpo todo e dos segmentos. O participante não deve portar itens de metal no corpo (brinco, piercing, cordão, pulseira, anel e outros) e com relação a vestimenta, a única restrição é a presença de metal na vestimenta como zíper, botão, sutiã de metal etc. O exame será conduzido conforme os padrões clínicos e em ambiente reservado e individual.
 6. (2 minutos) **Coleta de dados:** dados sociodemográficos (idade, sexo e cidade de residência), atividade física, regime alimentar (onívoro, ovolactovegetarianismo, lactovegetarianismo, ovovegetarianismo e vegetarianismo estrito), mulheres: ciclo menstrual.

DESCONFORTOS E RISCOS

Com relação a eventuais desconfortos, você poderá, eventualmente, se sentir moderadamente envergonhado (a) no momento da realização da pesquisa. Como forma de minimizar esse desconforto, informo que os procedimentos serão todos conduzidos por um profissional especializado em um espaço reservado e estruturado.

Os riscos que você está exposto são muito pequenos. Durante todo o período da pesquisa e na divulgação dos resultados, sua privacidade será respeitada, ou seja, seu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de alguma forma, identificar-lhe, será mantido em sigilo. Para garantir a confidencialidade e a anonimização dos dados, todas as informações serão codificadas e armazenadas em banco de dados criptografado. A exposição resultante do exame DXA, a partir de uma análise de corpo inteiro, é relativamente pequena ($\sim 0,3 \mu\text{Sv}$) e é menor do que a inevitável exposição diária à radiação ($\sim 2,0 \mu\text{Sv}/24 \text{ h}$) e muito inferior a outros exames, como raio-x ($60 \mu\text{Sv}$), tomográfica computadorizada da pélvis ($5,000 \mu\text{Sv}$) e mamografia ($130 \mu\text{Sv}$). A bioimpedância não gera uma corrente elétrica que interfira no metabolismo ou provoque sensação de choque, sendo imperceptível ao voluntário. O ultrassom também não gera riscos à saúde do voluntário. Não será realizado nenhum tipo de avaliação que comprometa a integridade física, biológica e psicológica dos participantes.

GARANTIA DE ESCLARECIMENTO, RECUSA E SIGILO

Você estará livre para se recusar a participar da pesquisa ou retirar o seu consentimento em qualquer momento e essa decisão não terá nenhuma penalização por parte dos pesquisadores. Caso você decida se recusar a participar da pesquisa ou retirar o seu consentimento não é necessário qualquer tipo de manifestação por escrito. Caso sinta vergonha ou desconfortável durante a avaliação, você pode parar o procedimento ou se recusar a responder qualquer pergunta que queira. Você também poderá tirar dúvidas sobre qualquer procedimento, quantas vezes precisar, com os pesquisadores ou com os Comitês de Ética em Pesquisa. As informações coletadas nos procedimentos mencionados anteriormente serão armazenadas de forma anônima, com codificação dos dados, em infraestrutura interna para armazenamento das informações com sigilo e segurança. Os seus dados poderão ser utilizados em artigos publicados em revistas de alto impacto e congressos também de forma anônima e em conjunto com dados anônimos de outros participantes. Os resultados dessa pesquisa não poderão fazer parte de prontuário médico. As fotografias digitais, após processamento, serão mantidas em arquivo digital, sob guarda e responsabilidade do pesquisador responsável, por um período de 5 anos após o término da pesquisa e não serão divulgadas em nenhum momento.

POSSÍVEIS BENEFÍCIOS AO PARTICIPAR DA PESQUISA

Caso decida participar dessa pesquisa, você ganhará a análise corporal feita pelo método de perímetros e dobras cutâneas, BIA e DXA.

RESSARCIMENTO E INDENIZAÇÃO

Você não terá nenhum gasto para participar da pesquisa e será ressarcido, quando necessário, (você e acompanhantes) das despesas que a pesquisa possa oferecer, na forma de bilhetes ou o dinheiro da (s) passagem (ns) do transporte público para o deslocamento para as atividades da pesquisa. A pesquisa será imediatamente interrompida se oferecer algum risco ou dano à sua saúde, e caso ocorra algum prejuízo causado pela participação na pesquisa, você receberá a assistência, acompanhamento e indenização, sob responsabilidade dos pesquisadores e do LabDAFEE da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ACOMPANHAMENTO E ASSISTÊNCIA

A sua colaboração com essa pesquisa inicia e encerra no mesmo dia em que os procedimentos forem realizados, mesmo que haja interrupção da pesquisa. Você terá assistência integral e imediata, de forma gratuita, pelo tempo que for necessário em casos de complicações e danos decorrentes da pesquisa.

CONSENTIMENTO EM PARTICIPAR DA PESQUISA COMO VOLUNTÁRIO

Declaro que concordo em participar da pesquisa:

(Assinatura do participante)

Rio de Janeiro, ____ de _____ de 20__.

(Assinatura do pesquisador)

ANEXO 4. QUESTIONÁRIO PARA COLETA DE DADOS E CADASTRO**Dados gerais**

Identificação na pesquisa:

Cidade em que reside:

Estado em que reside:

Atividade física

Faz atividade física: () Sim () Não

Se sim, qual modalidade:

Frequência (dias/semana):

Duração dos treinos (horas/semana):

Diagnóstico de doença

Possui diagnóstico para alguma doença: () Sim () Não

Se sim, qual (is):

Alimentação

Qual seu padrão alimentar:

() Onívoro

() Ovolactovegetariano

() Ovevegetariano

() Lactovegetariano

() Pescovegetariano

() Vegetariano Estrito (Vegano)

Em caso de algum padrão alimentar diferente de onívoro, Há quanto tempo tem esse padrão (anos):

Qual foi sua última refeição:

() Café da manhã

() Colação (lanche)

() Almoço

() Lance da tarde

() Jantar (dia anterior)

() Ceia (dia anterior)

Qual foi o horário dessa refeição:

O que comeu:

Ciclo menstrual

Sexo de nascimento:

() Feminino

() Masculino

Em caso de sexo feminino:

Ciclo é regular

() Sim

() Não

() As vezes

() Menopausa

() Outro: _____

Data do início da última menstruação:

Duração do período menstrual:

Usa anticoncepcional:

() Sim

() Não

Já teve alguma gestação acima de 3 meses? Se sim, quantas: