

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
FACULDADE DE ENFERMAGEM  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO E SAÚDE

LUÍZA CASTRO CARVALHO

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PERCENTUAIS DE GORDURA OBTIDOS POR MEIO  
DA AVALIAÇÃO CORPORAL POR DOBRAS CUTÂNEAS, BIOIMPEDÂNCIA,  
ULTRASSOM PORTÁTIL E DXA EM INDIVÍDUOS EUTRÓFICOS, COM  
SOBREPESO E COM OBESIDADE SUBMETIDOS OU NÃO À CIRURGIA  
BARIÁTRICA**

BELO HORIZONTE

2025

LUÍZA CASTRO CARVALHO

**COMPARAÇÃO ENTRE OS PERCENTUAIS DE GORDURA OBTIDOS POR MEIO DA AVALIAÇÃO CORPORAL POR DOBRAS CUTÂNEAS, BIOIMPEDÂNCIA, ULTRASSOM PORTÁTIL E DXA EM INDIVÍDUOS EUTRÓFICOS, COM SOBREPESO E COM OBESIDADE SUBMETIDOS OU NÃO À CIRURGIA BARIÁTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Nutrição e Saúde da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Nutrição e Saúde.

**Linha de Pesquisa:** Nutrição Clínica e Experimental

**Orientadora:** Profa. Dra. Jacqueline Isaura Alvarez-Leite

BELO HORIZONTE

2025

C331c Carvalho, Luíza Castro.  
Comparação entre os percentuais de gordura obtidos por meio da avaliação corporal por Dobras Cutâneas, Bioimpedância, Ultrassom Portátil e DXA em Indivíduos Eutróficos, com sobrepeso e com obesidade submetidos ou não à Cirurgia Bariátrica [recurso eletrônico]. / Luíza Castro Carvalho. - - Belo Horizonte: 2025.  
78f.: il.  
Formato: PDF.  
Requisitos do Sistema: Adobe Digital Editions.

Orientador (a): Jacqueline Isaura Alvarez-Leite.  
Área de concentração: Nutrição e Saúde.  
Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem.

1. Composição Corporal. 2. Cirurgia Bariátrica. 3. Impedância Elétrica. 4. Ultrassom. 5. Dobras Cutâneas. 6. Dissertação Acadêmica. I. Alvarez-Leite, Jacqueline Isaura. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem. III. Título.

NLM: QU 100

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ENFERMAGEM - COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NUTRIÇÃO SAÚDE

**ATA DE NÚMERO 126 (CENTO E VINTE E SEIS) DA SESSÃO DE ARGUIÇÃO E DEFESA DA DISSERTAÇÃO APRESENTADA PELA CANDIDATA LUIZA CASTRO CARVALHO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM NUTRIÇÃO E SAÚDE.**

Aos 29 (vinte e nove) dias do mês de setembro de dois mil e vinte e cinco, às 08:00 horas, realizou-se por meio de videoconferência, a sessão pública para apresentação e defesa da dissertação "**COMPARAÇÃO ENTRE OS PERCENTUAIS DE GORDURA OBTIDOS POR MEIO DA AVALIAÇÃO CORPORAL POR DOBRAS CUTÂNEAS, BIOIMPEDÂNCIA, ULTRASSOM PORTÁTIL E DXA EM INDIVÍDUOS EUTRÓFICOS, COM SOBREPESO E COM OBESIDADE SUBMETIDOS OU NÃO À CIRURGIA BARIÁTRICA**", da aluna **Luiza Castro Carvalho**, candidata ao título de "Mestre em Nutrição e Saúde", linha de pesquisa "Nutrição Clínica e Experimental". A Comissão Examinadora foi constituída pelas professoras doutoras Jacqueline Isaura Alvarez Leite, Daniela Corrêa Ferreira e Núbia de Souza de Moraes, sob a presidência da primeira. Abrindo a sessão, a Senhora Presidente da Comissão, após dar conhecimento aos presentes do teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu sem a presença da candidata, para julgamento e expedição do seguinte resultado final:

APROVADO;

APROVADO COM AS MODIFICAÇÕES CONTIDAS NA FOLHA EM ANEXO;

REPROVADO.

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pela Senhora Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, eu, Jacqueline Isaura Alvarez Leite, Presidente da Comissão Examinadora, lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada será assinada por mim e pelos demais membros da Comissão Examinadora.

**Belo Horizonte, 29 de setembro de 2025.**

Profa. Dra. Jacqueline Isaura Alvarez Leite  
Orientadora (UFMG)

Profa. Dra. Daniela Corrêa Ferreira  
Membro Titular (UFJF)

Profa. Dra. Núbia de Souza de Moraes

Membro Titular (Faculdade Católica de São Paulo)



Documento assinado eletronicamente por **Jacqueline Isaura Alvarez Leite, Professora do Magistério Superior**, em 07/10/2025, às 16:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Daniela Corrêa Ferreira, Usuária Externa**, em 17/10/2025, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Núbia de Souza de Moraes, Usuária Externa**, em 03/11/2025, às 13:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4625748** e o código CRC **56FC9BFA**.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou todo tempo e me deu ânimo nos momentos mais difíceis.

Ao meu companheiro de vida, Marlon, meu porto seguro e maior incentivador. Agradeço por todo apoio emocional e psicológico e por todo amor, carinho e paciência durante todo esse tempo. Obrigada por acreditar em mim quando eu mesma não acreditei. Te amo.

Aos meus pais e minha tia, os meus maiores apoiadores. Mãe, pai e titia, obrigada por serem tudo para mim durante toda a minha vida, obrigada por sonharem comigo, por serem meu suporte e por vibrarem por todas as minhas conquistas. Se cheguei até aqui, devo tudo a vocês.

Aos meus irmãos, especialmente o João que me inspirou a começar essa jornada da vida acadêmica. Que bom ter vocês para caminharem comigo pela vida. Obrigada pelo incentivo e conselhos.

Aos meus amigos que sempre estiveram nos bastidores, não somente mas em especial Renata, Bella, Mari, Pri, Paula e Sophia. A amizade de vocês é descanso para minha alma. Obrigada pelas orações e pelo encorajamento sempre.

À professora Jacqueline, que abriu as portas para que eu realizasse este sonho. Obrigada por todo suporte e aprendizado durante este período. Te tenho como inspiração e te admiro muito. Minha gratidão à você.

Às minhas amigas e companheiras da vida acadêmica, Marcela, Isabela, Larissa, Leandra e Sabrina, que têm um lugar especial no meu coração. Obrigada pelas trocas de aprendizado, pelas dicas e por tornarem a caminhada do mestrado mais leve. Um agradecimento especial à Marcela e à Isabela, que me deram o maior empurrão para que tudo isso começasse.

À Equipe Labineto por todo o aprendizado e trocas. Vocês tornaram a realização desse sonho possível.

Aos pacientes do ambulatório Jenny Faria de Andrade e aos voluntários por permitirem que a minha pesquisa acontecesse.

À CAPES pelo apoio financeiro que possibilitou a realização desta pesquisa.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.*

***Albert Einstein***

## RESUMO

**Introdução:** A composição corporal inclui água, gordura, proteínas e minerais, sendo a gordura o componente mais variável. O Índice de Massa Corporal (IMC), embora amplamente usado, não representa adequadamente a distribuição de gordura, exigindo métodos mais precisos. **Objetivo:** Comparar o percentual de gordura corporal (%GC) obtido por Densitometria por Absorciometria de Raios X de Dupla Energia (DXA), Bioimpedância Elétrica (BIA), Ultrassom Portátil (US) e Dobras Cutâneas (DC). **Métodos:** Foram avaliados 251 adultos (81,67% mulheres, mediana de 47 anos), incluindo indivíduos eutróficos, com sobrepeso e obesidade, com ou sem cirurgia bariátrica. Os participantes foram recrutados no HC-UFMG e por redes sociais, com idade mínima de 18 anos. Todos foram avaliados por BIA e US; DC foi aplicada em 87 eutróficos e com sobrepeso; DXA em 24 participantes. As equações de Jackson e Pollock (3, 4 e 7 dobras) e a equação de Siri foram usadas para calcular o %GC. A análise estatística utilizou o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) para medir a concordância entre os métodos, e a correlação de Pearson para avaliar relações lineares. Também foi aplicada regressão linear de efeitos mistos para comparar grupos bariátricos e não-bariátricos. **Resultados:** Os valores médios de %GC foram: BIA 36,26%, US 36,50%, DC (7 dobras) 23,39% e DXA 37,77%. A concordância geral entre BIA, US e DC foi boa a excelente (ICC 0,795–0,921), maior em homens (ICC 0,752–0,901) do que em mulheres (ICC 0,546–0,783). Em indivíduos com obesidade, a concordância entre BIA e US foi baixa (ICC 0,306–0,469), enquanto foi boa a excelente em eutróficos e com sobrepeso. Comparados à DXA, BIA e US mostraram concordância moderada a boa (BIA: ICC 0,548–0,708; US: ICC 0,635–0,776); DC teve baixa concordância (ICC 0,302–0,464). Não houve diferença significativa no %GC entre pacientes bariátricos e não-bariátricos após ajustes por IMC, sexo e idade. **Conclusão:** Conclui-se que BIA e US apresentam concordância satisfatória, sobretudo em indivíduos eutróficos e com sobrepeso, configurando alternativas viáveis ao DXA. Contudo, limitações técnicas do US em indivíduos com obesidade e as diferenças metodológicas em relação ao padrão-ouro exigem cautela na interpretação dos resultados.

**Palavras-chave:** composição corporal; cirurgia bariátrica; bioimpedância elétrica; ultrassom; dobras cutâneas; DXA.

## ABSTRACT

**Introduction:** Body composition includes water, fat, proteins, and minerals, with fat being the most variable component. Although Body Mass Index (BMI) is widely used to assess nutritional status, it does not accurately reflect fat distribution, requiring more precise methods. **Objective:** To compare body fat percentage (%BF) obtained through Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA), Bioelectrical Impedance Analysis (BIA), Portable Ultrasound (US), and Skinfold Thickness (SF). **Methods:** A total of 251 adults were evaluated (81.67% women, median age 47), including individuals with normal weight, overweight, and obesity, both with and without bariatric surgery. Participants were recruited from the Nutrition and Obesity Clinic at HC-UFGM and through social media, with a minimum age of 18 years. All underwent BIA and US assessments; SF was applied to 87 individuals with normal weight or overweight; DXA was performed on a subgroup of 24 participants. Jackson and Pollock equations (3, 4, and 7 skinfolds) and Siri's equation were used to calculate %BF. Statistical analysis included Intraclass Correlation Coefficient (ICC) to assess agreement between methods, and Pearson's correlation to evaluate linear relationships. A mixed-effects linear regression was used to compare bariatric and non-bariatric groups. **Results:** Mean %BF values were: BIA 36.26%, US 36.50%, SF (7 folds) 23.39%, and DXA 37.77%. Overall agreement between BIA, US, and SF was good to excellent (ICC 0.795–0.921), higher in men (ICC 0.752–0.901) than in women (ICC 0.546–0.783). In individuals with obesity, agreement between BIA and US was low (ICC 0.306–0.469), but good to excellent in normal weight and overweight groups. Compared to DXA, BIA and US showed moderate to good agreement (BIA: ICC 0.548–0.708; US: ICC 0.635–0.776), while SF showed low agreement (ICC 0.302–0.464). No significant difference in %BF was found between bariatric and non-bariatric patients after adjusting for BMI, sex, and age. **Conclusion:** In conclusion, BIA and US showed satisfactory concordance, particularly in normal-weight and overweight individuals, representing feasible alternatives to DXA. However, US technical limitations in obese subjects and methodological differences from the reference standard require careful interpretation.

**Keywords:** body composition; bariatric surgery; bioelectrical impedance; ultrasound; skinfold thickness; DXA.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b>	Diferentes resultados fornecidos por diversos modelos de avaliação da composição corporal.....	14
<b>FIGURA 2</b>	Imagem de ultrassom BodyMetrix da coxa.....	22
<b>FIGURA 3</b>	Correlação do %GC entre bioimpedância e demais métodos.....	32
<b>FIGURA 4</b>	Correlação do %GC entre DXA e demais métodos.....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b>	Classificação do estado nutricional de acordo com IMC, para adultos.....	15
<b>TABELA 2</b>	Características dos participantes do estudo.....	29
<b>TABELA 3</b>	Concordância entre os métodos utilizados (BIA vs. US vs. dobras cutâneas) entre pacientes com eutrofia e sobrepeso.....	30
<b>TABELA 4</b>	Concordância da BIA com o US e as dobras cutâneas.....	31
<b>TABELA 5</b>	Concordância da BIA com o US e as dobras cutâneas por IMC.....	32
<b>TABELA 6</b>	Concordância do US com as dobras cutâneas para homens, mulheres e geral.....	33
<b>TABELA 7</b>	US versus as dobras cutâneas para homens e mulheres por IMC.....	34
<b>TABELA 8</b>	Concordância entre DXA, BIA, US e dobras cutâneas.....	35
<b>TABELA 9</b>	Concordância da DXA com a BIA, US e dobras por IMC.....	36

## LISTA DE ABREVIATURAS

OMS	Organização Mundial de Saúde
MEV	Modificações no estilo de vida
CB	Cirurgia bariátrica
IMC	Índice de Massa Corporal
MG	Massa gorda
MLG	Massa livre de gordura
ACT	Água corporal total
DXA	Absorciometria de raios X de dupla energia
BIA	Bioimpedância elétrica
RCQ	Relação cintura-quadril
%GC	Percentual de gordura corporal
%MM	Percentual de massa magra
MMM	Massa magra mole
MME	Massa muscular esquelética
TC	Tomografia computadorizada
RM	Ressonância magnética
CC	Circunferência de cintura
RCE	Razão cintura/estatura
AIC	Água intracelular
AEC	Água extracelular
ETNNO	Equipe Multidisciplinar do Ambulatório de Terapia Nutricional e Nutrológica na Obesidade Extrema
HC-UFGM	Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais
SISVAN	Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional/Ministério da Saúde Brasileiro
ICC	Coefficiente de correlação intraclasse

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2.REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1.Obesidade .....	15
2.2.Métodos de avaliação da composição corporal .....	17
2.2.1.Métodos laboratoriais .....	17
2.2.2.Métodos de campo.....	19
<b>3.OBJETIVOS</b> .....	23
3.1.Objetivo geral .....	23
3.2.Objetivos específicos.....	23
<b>4.MÉTODOS</b> .....	24
4.1.Delineamento e seleção dos participantes .....	24
4.2.Coleta de dados antropométricos.....	24
4.2.1.Peso Corporal.....	24
4.2.2.Altura .....	25
4.2.3.Índice de massa corporal.....	25
4.2.4.Composição corporal .....	25
4.3.Análise estatística .....	27
<b>5.RESULTADOS</b> .....	29
<b>6.DISSCUSSÃO</b> .....	37
6.1.Bariátricos vs não bariátricos .....	37
6.2.Influência do sexo e do IMC .....	40
6.3.BIA x US .....	40
6.4.BIA x dobras cutâneas.....	42
6.5.US x dobras cutâneas.....	43
6.6.DXA.....	45
6.7.Limitações e contribuições à literatura.....	47
<b>7.CONCLUSÃO</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50
<b>ANEXO I</b> .....	56
<b>ANEXO II</b> .....	76

## 1. INTRODUÇÃO

A obesidade é uma condição crônica caracterizada pelo acúmulo excessivo de gordura corporal, segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) (1). Atualmente é considerada uma epidemia mundial e um grave problema de saúde pública que afeta negativamente a saúde e a longevidade por aumentar o risco de doença crônicas não transmissíveis e de mortalidade precoce (2). De acordo com a Federação Mundial de Obesidade, em 2020, 42% dos adultos no mundo tinham sobrepeso ou obesidade, somando 2,2 bilhões de indivíduos, e a estimativa é de que, em 2030, esse número suba para 50%, o que corresponde a 2,9 bilhões de adultos acima do peso, dentre eles, 1,1 bilhão de pessoas com obesidade (3).

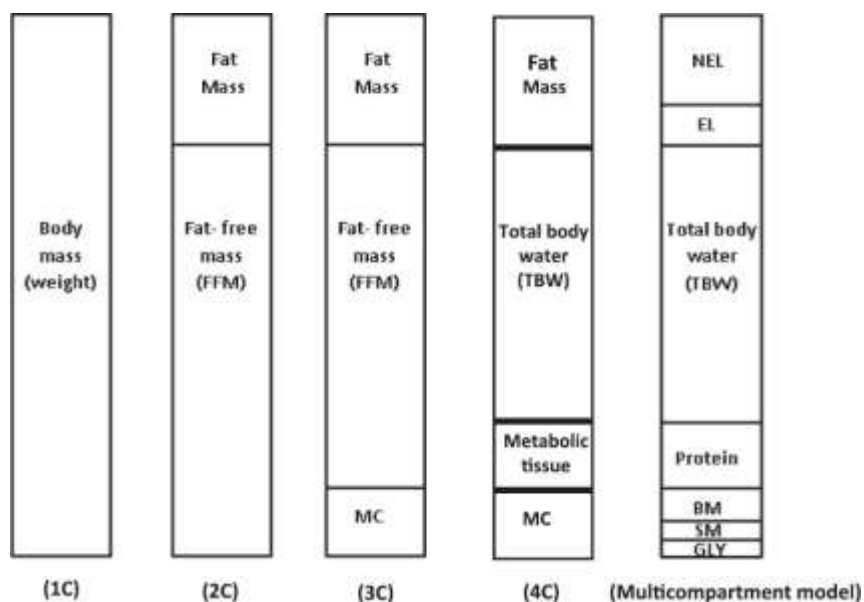
O aumento das taxas de obesidade nos últimos anos gerou uma necessidade de se avaliar precisamente a composição corporal dos indivíduos para se ter uma melhor avaliação do seu estado geral de saúde e detectar ou diagnosticar problemas nutricionais importantes, como a própria obesidade, mas também subnutrição, sarcopenia e osteoporose (2,4). Com medições precisas é possível monitorar as mudanças da composição corporal proporcionadas por uma ou mais intervenções em saúde, que vão desde modificações no estilo de vida (MEV) e terapia medicamentosa até a realização de cirurgia bariátrica (CB), sendo esta considerada um tratamento definitivo para a obesidade (4–6).

O corpo humano é composto principalmente de água, gordura, proteínas e minerais. Desses, a gordura é o componente que mais apresenta variações entre indivíduos e em um mesmo indivíduo ao longo do tempo. A ferramenta mais utilizada para determinar o estado nutricional é o Índice de Massa Corporal (IMC – peso corporal dividido pela altura ao quadrado ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )), porém, apesar de estar correlacionado com o acúmulo de gordura e saúde metabólica da população, é um método insensível à distribuição real de gordura corporal (7).

Os métodos de avaliação da composição corporal dividem a massa corporal total nos compartimentos de massa gorda (MG) e massa livre de gordura (MLG), que compreende músculos, ossos, órgãos, ligamentos, tendões e água. Os modelos de dois compartimentos (2C) consideram a MG e a MLG como um todo, já os de três compartimentos (3C) medem a densidade corporal, assumindo uma proporção mineral-proteína constante de 0,35 e com isso dividem a MLG em tecido magro e conteúdo mineral ósseo. Esse tecido magro pode ser analisado como sendo composto por água (água corporal total (ACT)) e massa seca livre de gordura (MSLG). Há ainda o modelo de 4 compartimentos (4C), que combina métodos para dividir a massa corporal total em massa gorda, água corporal total, conteúdo mineral ósseo e massa residual

(proteína) (Figura 1) (8,9) .

**Figura 1:** Diferentes resultados fornecidos por diversos modelos de avaliação da composição corporal.



1C, um compartimento; 2C, dois compartimentos; 3C, três compartimentos; 4C, quatro compartimentos; MC, conteúdo mineral; NEL, lipídio não essencial; EL, lipídio essencial; BM, mineral ósseo; SM, mineral de tecido mole; GLY, glicogênio.

**Fonte:** Rebeca Kuriyan, 2018 (8)

A partir dos resultados obtidos pela avaliação da composição corporal, os profissionais de saúde podem elaborar e prescrever o melhor tratamento para que o paciente obtenha os resultados desejados, que podem variar desde a necessidade de perda de gordura e/ou ganho de massa magra. Várias técnicas diferentes vêm sendo criadas e estudadas desde o século passado para se determinar a composição corporal. Os estudos se iniciaram com métodos diretos, como dissecação de cadáveres, e foram evoluindo para medidas indiretas simples, como relação cintura-quadril, a mais elaboradas, como imagens tridimensionais, e cada um dos métodos possui suas vantagens e desvantagens (7). Portanto, conhecer e entender as melhores técnicas disponíveis para avaliação da composição corporal é essencial para personalizar tratamentos em saúde, especialmente dietéticos (2).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Obesidade

No Brasil, conforme os dados do VIGITEL de 2023, cerca de 61,4% da população adulta tinha excesso de peso, sendo estratificada de acordo com o sexo em 63,4% dos homens e 59,6% das mulheres. Destes, 24,3% dos indivíduos adultos de ambos os sexos tinham obesidade (10). Embora haja uma crença de que a obesidade é resultado apenas de sedentarismo e ingestão excessiva de calorias, atualmente ela é entendida como o desfecho da combinação desses dois fatores com uma falha na homeostase energética e com componentes genéticos, ambientais e neurocomportamentais, ou seja, sua etiologia é multifatorial (11).

O IMC é um dos métodos mais usados em estudos epidemiológicos para avaliar a quantidade de gordura corporal e classificar os indivíduos de acordo com o peso (Tabela 1). Embora seja uma medida simples, o IMC tem limitações quando aplicado a indivíduos, pois não distingue de forma precisa os diferentes níveis de gordura corporal (7,8).

**Tabela 1: Classificação do estado nutricional de acordo com IMC, para adultos**

IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Classificação
<18,5	Baixo peso
18,5 – 24,9	Eutrofia
25 – 29,9	Sobrepeso
30 – 34,99	Obesidade grau I
35 – 39,99	Obesidade grau II
>40	Obesidade grau III

**Fonte:** WHO, 2000 (WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. World Health Organ. 2000; 894(i-xii):1-253.)

Contrário ao que se acreditava há alguns anos, o tecido adiposo é um órgão ativo, altamente dinâmico, responsável pela regulação de diversas atividades biológicas e não apenas um armazenador de energia. Ele é composto, em sua maioria, por adipócitos, mas também fibras nervosas, células endoteliais vasculares, células imunes, linfonodos, fibroblastos e pré-adipócitos. Os adipócitos expressam receptores em sua superfície e produzem diversas adipocinas, que intermediam a comunicação do tecido adiposo com outros tecidos, regulando o apetite, a adipogênese, imunidade, metabolismo da glicose e de lipídios e outros processos (11). O tecido adiposo é composto majoritariamente pelas células de gordura subcutâneas, compondo

cerca de 80% da gordura corporal total, todavia menores quantidades podem ser armazenadas em órgãos como fígado e músculos de maneira ectópica, chamada de gordura visceral, causando prejuízo na funcionalidade do órgão. Esta está mais associada ao risco cardiovascular e de mortalidade (12).

Em um cenário fisiológico de expansão do tecido adiposo, os adipócitos são capazes de armazenar o excesso de energia em forma de triglicerídeos, expandindo de tamanho até atingir um limite disfuncional de oxigênio. Esse contexto de hipóxia leve transmite um sinal para que haja remodelação da matriz extracelular e ocorra angiogênese, permitindo assim a chegada de oxigênio a todas as células (13). Todavia, num estado de obesidade essa hipóxia ocorre de maneira persistente, sem possibilidade de angiogênese adequada. Esse estado causa morte dos adipócitos, que leva à fibrose do tecido adiposo, recrutamento de monócitos e a diferenciação em macrófagos pró-inflamatórios (M2), liberação de ácidos graxos livres, de espécies reativas de oxigênio e de citocinas inflamatórias e também à inibição da síntese da adiponectina, citocina anti-inflamatória. Uma das citocinas produzidas nesse cenário é o TGF- $\beta$ 1, que possui funções pró-fibrótica, de remodelação tecidual e pró-inflamatória. Em modelos animais, essa e outras citocinas foram relacionadas com o aumento de macrófagos do tipo M2 no tecido adiposo e aumento da expressão de colágeno e IL-6, culminando com um tecido disfuncional pela presença de fibrose e aumento da inflamação. Desse modo, instala-se uma inflamação sistêmica de baixo grau, que por sua vez gera uma gama de distúrbios metabólicos, como resistência à insulina, disfunção endotelial e aumento do risco de desenvolvimento de doenças cardiovasculares (11,13,14).

Em março de 2025, foi publicado um estudo pela Comissão de Diabetes e Endocrinologia do The Lancet em que há uma proposta de novas diretrizes para diagnosticar e tratar a obesidade, enfatizando a necessidade de confirmar o excesso de gordura além do IMC e considerar limitações na execução de atividades diárias. Haveria, então, a distinção entre dois estados metabólicos: a obesidade pré-clínica e a obesidade clínica, conforme a presença ou ausência de manifestações clínicas objetivas de disfunção de órgãos e tecidos. Os novos critérios de avaliação, segundo os autores, devem incluir outros parâmetros como circunferência abdominal, relação cintura-quadril, razão cintura/estatura e medidas diretas de adiposidade, feitas a partir de absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) e bioimpedância elétrica (BIA) por exemplo, que permitam uma avaliação mais fidedigna da composição corporal para que se possa entender melhor o impacto da obesidade na saúde do indivíduo. Desse modo, há menos chances tanto de subdiagnóstico quanto de sobrediagnóstico da obesidade, tornando o cuidado mais assertivo e individualizado. Assim, a intervenção necessária para indivíduos com obesidade pré-clínica deve

ter como objetivo a redução de risco, enquanto as intervenções para indivíduos com obesidade clínica devem ser corretivas (15).

## **2.2. Métodos de avaliação da composição corporal**

Os métodos considerados como referência na avaliação da composição corporal são a tomografia computadorizada (TC) e a ressonância magnética (RM). Ambas as técnicas permitem a quantificação volumétrica direta da massa muscular esquelética, gordura subcutânea, gordura visceral e gordura intramuscular com elevado grau de precisão, fornecendo imagens seccionais com alta resolução e permitindo análises detalhadas de regiões específicas ou de todo o corpo (16,17). Contudo, as duas técnicas são de alto custo e, adicionalmente, a TC envolve exposição moderada à radiação, tornando-as pouco acessíveis, principalmente na rede pública de saúde brasileira (17,18).

Como alternativa, a absorciometria de raios X de dupla energia (DXA) é outro método que expõe os indivíduos a um nível muito menor de radiação e possui forte correlação com a TC e a RM na avaliação tanto de MG quanto de MLG, sendo considerada também um padrão-ouro na avaliação da composição corporal (19). Apesar de ser mais acessível que os outros métodos de referência, a DXA ainda é um método de alto custo e não portátil. Tendo isso em vista, diversos outros métodos também estão disponíveis e apresentam diferentes vantagens e desvantagens (17,20).

### **2.2.1. Métodos laboratoriais**

#### *Absorciometria de raios X de dupla energia (DXA)*

A DXA usa raios X com duas energias diferentes para formar uma imagem bidimensional. Dependendo da espessura do tecido e do seu respectivo coeficiente de atenuação de um raio X (o quanto os fótons passam pelo tecido) é possível diferenciar a imagem formada em três componentes: conteúdo mineral ósseo, lipídios (MG) e tecido mole livre de lipídios (massa magra) (7,21). Para realizar a avaliação o indivíduo se deita em uma cama em um posicionamento padrão e o feixe de raios X é emitido da direção posterior para a anterior, onde fica um detector (22).

A DXA fornece uma projeção bidimensional do corpo, portanto não é possível obter medições volumétricas, então modelos anatômicos precisam ser utilizados para estimar a distribuição entre tecido adiposo visceral e subcutâneo e volumes regionais (7). Como o foco do método é avaliar o conteúdo ósseo, o tecido adiposo e a massa magra situados sobre os ossos não são avaliados diretamente. Como os cálculos assumem que os tecidos moles estão distribuídos

de maneira uniforme entre os membros e o tronco, quando há maior concentração de gordura em determinada área, especialmente no tronco, a DXA pode subestimar esse valor, comprometendo a precisão da análise (9). Apesar disso, essa técnica mostrou-se mais precisa que métodos baseados em densidade corporal para estimar a gordura total, sendo considerada a técnica padrão-ouro na análise da composição corporal em nível molecular (21).

Esse é um método rápido, válido e confiável, porém pouco acessível, de alto custo, que requer instalações específicas e técnicos treinados e expõe o paciente a radiação, mesmo que pequena, o que faz com que não seja utilizado amplamente (21,23,24).

#### *Pletismografia por deslocamento de ar*

A pletismografia por deslocamento de ar envolve a estimativa da densidade corporal e fornece valores de gordura corporal total e massa livre de gordura (7). Nesse método, o indivíduo fica sentado em uma câmara fechada por cerca de 5-8 minutos. Fazendo uma associação entre pressão e volume de ar deslocado é possível determinar o volume corporal como o volume de ar na câmara vazia menos o volume de ar na câmara com o indivíduo (8).

Por ser um modelo de 2C, os resultados são afetados pelo conteúdo mineral ósseo e pela hidratação e ele não fornece as distribuições da MG e da MLG (7). O instrumento utilizado para realizar a medição é o BOD POD, que embora seja de fácil utilização, é de alto custo (8).

A validade da pletismografia por deslocamento de ar comparada à DXA ainda é inconclusiva. Um estudo realizado com 30 homens negros saudáveis mostrou que os resultados de %GC obtidos a partir da densidade corporal por pletismografia por deslocamento de ar eram 1,67% menores que aqueles obtidos por DXA ( $P < 0,01$ ) (25). Em concordância, o estudo de Heden e colaboradores feito com 244 adultos, o Bod Pod estimou uma média de 23,4% de gordura corporal, enquanto o DXA indicou 29,5%, resultando em uma diferença significativa de 6,1% ( $p = 0,001$ ) (26). Em contrapartida, outro estudo revelou que o Bod Pod superestimou a gordura corporal em indivíduos com IMC baixo e subestimou em indivíduos com IMC alto, com discrepâncias de até 13% em alguns casos (27). Já o estudo de Wingfield e colaboradores, feito com 24 mulheres com sobrepeso e obesidade, mostrou não haver diferença significativa entre os %GC obtidos por pletismografia por deslocamento de ar e DXA, bem como entre os valores de MG e MLG (28). Por fim, um estudo com 43 mulheres jovens, encontrou estimativas de gordura corporal de 24,3% pelo Bod Pod e 23,8% pelo DXA, sem diferença significativa (29). Portanto, apesar de ser um método prático e não invasivo, a pletismografia por deslocamento de ar pode subestimar ou superestimar a composição corporal dependendo do estado nutricional (12).

### 2.2.2. Métodos de campo

#### *Antropometria*

A antropometria consiste em um conjunto de medições externas diretas do corpo humano, as quais podem ser empregadas como indicadores indiretos da composição corporal. Seus principais componentes são peso, altura, IMC, circunferências corporais e espessura das dobras cutâneas. As medidas antropométricas são um método simples e barato de estimar a composição corporal e o estado nutricional, todavia demandam tempo, profissionais bem treinados, padronização das medições e podem apresentar grandes variações entre avaliadores e entre avaliações (30).

A classificação do IMC proposta pela OMS é amplamente utilizada para avaliar o estado nutricional e o risco de doenças relacionadas à obesidade (31). Apesar de ser um método simples, barato e rápido, é pouco sensível à distribuição real da gordura corporal, dado que isso depende da idade, sexo, etnia e outros fatores individuais, além de que o acúmulo de gordura em diferentes regiões do corpo está relacionado com diferentes riscos metabólicos (8,31).

O IMC pode ser combinado com outros parâmetros simples para melhorar a sensibilidade à indentificação do acúmulo de gordura corporal. Alguns deles são a circunferência de cintura (CC), relação cintura-quadril (RCQ) e a razão cintura/estatura (RCE), marcadores antropométricos de risco cardiometabólico que apresentam correlação positiva com mortalidade por todas as causas, e as medidas de dobras cutâneas (31–34).

A técnica de dobras cutâneas utiliza o paquímetro como instrumento para medir a espessura das dobras cutâneas em diferentes locais do corpo, aferindo duas camadas de pele e a gordura subjacente (35). Os locais a serem medidos variam de acordo com a equação escolhida, por meio da qual é possível estimar a densidade corporal e, a partir dela, o percentual de gordura usando a equação de Siri (2,8). Essa técnica assume que quantidade de gordura subcutânea é representativa da quantidade de gordura corporal total (12).

Para realizar as medições, o indivíduo deve estar em pé e o avaliador deve, em primeiro lugar, realizar as marcações dos pontos a serem medidos. Em seguida, o avaliador deve destacar a dobra de pele e gordura subcutânea do músculo subjacente com os dedos indicador e polegar, posicionar o paquímetro perpendicularmente sobre a dobra e deixá-lo ajustar-se à espessura da prega para então realizar a leitura da medição, que é fornecida em milímetros (35–37).

As equações, e portanto quais e quantos pontos escolhidos, variam de acordo com o sexo, idade, etnia e estado nutricional (8,30,35,38). Com uma pequena amostra de indivíduos jovens brasileiros, o estudo de Viana e colaboradores comparou os resultados de gordura corporal relativa utilizando quatro equações diferentes (Jackson, Pollock e Ward (1980) e Faulkner (1968)

para mulheres e Jackson e Pollock (1978) e Guedes (1985) para homens) combinadas com a equação de Siri e encontrou diferenças significativas entre os valores obtidos pelas equações para ambos os sexos, corroborando com os resultados encontrados por outros autores brasileiros (35). Há também diversos estudos que compararam os valores de %GC obtidos por dobras cutâneas com os fornecidos por DXA em diferentes populações. Alguns deles, conduzidos com indivíduos eutróficos, com sobrepeso ou obesidade, jovens ou mais velhos encontraram diferenças significativas entre os valores obtidos pelos dois métodos, sendo que as equações ora subestimaram o %GC em comparação com a DXA, ora superestimaram (39–41).

Apesar de não haver um consenso da concordância dos valores de composição corporal obtidos por dobras cutâneas e DXA, alguns estudos mostraram que há concordância moderada entre os valores obtidos por dobras e bioimpedância elétrica (41).

Esse é um método de baixo custo, requer equipamento mínimo, a avaliação é rápida, não exige preparo por parte do paciente e é minimamente invasiva (42). Por outro lado, requer profissional treinado, as avaliações realizadas por diferentes profissionais não devem ser comparadas, os valores encontrados podem ser discrepantes caso diferentes equações sejam utilizadas e a redistribuição da gordura corporal, a flacidez da pele e a diminuição do tônus muscular em indivíduos mais velhos pode afetar o resultado (36,38,41,42). Além disso, essa técnica não é recomendada para medir o grau de adiposidade em pessoas com obesidade devido ao fato de a gordura subcutânea não ser facilmente separada do músculo e haver uma limitação no tamanho máximo de abertura do paquímetro, prejudicando a precisão da medição e subestimando a quantidade total de gordura corporal (41,43,44).

#### *Análise de bioimpedância elétrica (BIA)*

Para estimar a composição corporal, a BIA considera as propriedades de condução elétrica do corpo e consiste na medição da impedância à passagem de uma corrente elétrica de baixa intensidade, em uma frequência constante. O dispositivo utilizado pode ser de frequência única ou multifrequência, sendo os últimos mais precisos por haver penetração da corrente em diferentes tecidos (2,8).

O princípio da BIA é que a corrente elétrica flui continuamente pelo tecido magro, composto de, aproximadamente, 73% água, tornando-o um bom condutor elétrico devido aos eletrólitos presentes, já o tecido adiposo causa resistência ao fluxo da corrente, por possuir hidratação extremamente baixa e ser, portanto, um mau condutor elétrico (2,20).

Para realizar a medição, o indivíduo deve ficar deitado em uma superfície plana não condutora e os eletrodos devem ser posicionados nos locais indicados pelo fabricante.

Dependendo do modelo do dispositivo, o indivíduo também pode ser posicionado em pé em cima de uma base condutora e segurar dois eletrodos, posicionando-os de acordo com as instruções do fabricante. Dados como peso, altura, idade e sexo podem ser inseridos no dispositivo e então ele deve ser acionado (2,23). Diferentes máquinas de BIA são equipadas com diferentes algoritmos que usam equações de predição para estimar múltiplos parâmetros de composição corporal. Essas equações são desenvolvidas para populações específicas e o uso indevido pode contribuir para um erro nas medições da composição corporal (24).

A BIA quantifica a impedância e a partir dela estima a água intracelular (AIC), a água extracelular (AEC), a água corporal total (ACT), a MLG, a MG e %GC. Alguns dispositivos fornecem resultados de MLG e MG totais e outros por segmentos, além de alguns estimarem o conteúdo mineral ósseo (2).

Quando comparada à DXA, os estudos de validação da BIA mostraram resultados mistos, mas concentrando-se na subestimação dos valores de %GC (24).

Esse método é seguro, fácil de usar, não invasivo, portátil, não requer avaliador treinado, apresenta custo relativamente baixo e possui boa estimativa tanto para indivíduos saudáveis quanto para aqueles com sobrepeso ou obesidade (8). Contudo, os resultados podem ser influenciados pelo equipamento utilizado, pelo nível de hidratação, pela prática recente de atividade física, estado nutricional, alimentação, consumo de álcool e ciclo menstrual, necessitando, portanto, de preparo por parte do paciente. Além disso o uso desse método não é recomendado para indivíduos com dispositivos eletrônicos implantados, como marca-passo. (12,24,43).

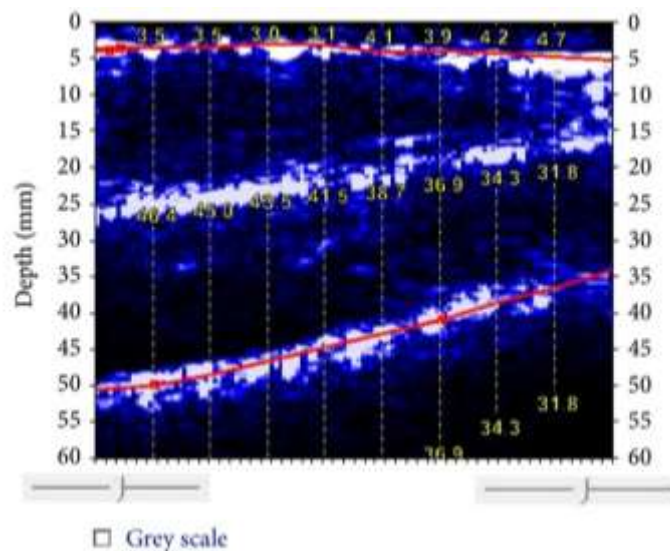
### *Ultrassom (US)*

A avaliação da composição corporal por ultrassom funciona a partir de um aparelho que gera pulsos de ondas sonoras em frequência inaudível para o ser humano que são enviados através da pele e, ao atingir uma interface de tecido, como pele-gordura subcutânea, músculo-tecido adiposo e osso-tecido muscular, têm uma parte refletida de volta para o transdutor como um eco, que é transformado em sinais para processamento pelo transdutor. A intensidade de cada onda refletida depende da mudança na impedância acústica da interface e é representada por um ponto. A localização desse ponto indica a profundidade de onde o eco foi captado e, quando agrupados, esses pontos formam uma imagem (4,45,46).

Para realizar a avaliação, o primeiro passo deve ser marcar os locais a serem medidos. Como ainda não há diretrizes específicas para uso do US na avaliação da composição corporal, são utilizadas as equações, e portanto os pontos, das dobras cutâneas. Após a marcação, com o

indivíduo em pé, um gel próprio é colocado na cabeça do transdutor e este é deslizado pelo local de medição sem que haja perda de contato com a pele. Para medição de cada ponto é feito um movimento de cerca de  $\pm 5$  mm. Após medir todos os pontos, o software utilizado aplica os valores de espessura da gordura subcutânea encontrados na fórmula escolhida e fornece um valor de %GC. Para escaneamento de uma região inteira (por exemplo, coxa ou tríceps) o movimento pode ser linear sobre todo o tecido ou sobre uma região delimitada, formando uma imagem (Figura 2). O resultado fornece então medidas de espessura da gordura subcutânea e do músculo subjacente ao local de medição (45).

**Figura 2:** Imagem de ultrassom BodyMetrix da coxa.



A linha superior indica a interface gordura-músculo subcutânea (espessura média de 3,69 mm). A linha inferior indica o limite músculo-osso. A espessura do músculo varia de 32,0 mm a 46,6 mm. A camada branca no centro é o limite do reto femoral e vasto intermédio.

**Fonte:** Wagner, 2013 (45)

Esse é um método não invasivo, portátil, rápido, capaz de medir espessura de vários tecidos, ao contrário das dobras cutâneas pode ser utilizado em indivíduos com obesidade, não necessita de preparo por parte do paciente e apresenta custo baixo quando comparado com os métodos laboratoriais. Contudo, é necessário um técnico treinado para realizar a avaliação e a interpretação das imagens, ainda não há a padronização dos procedimentos, técnicas e referências, o custo é mais elevado do que os outros métodos de campo e a profundidade máxima possível de ser medida é de 100mm (45–48).

Diante da grande disponibilidade de métodos laboratoriais para avaliação da composição corporal, é imprescindível avaliar a concordância entre eles em diferentes faixas de IMC e idades.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

O presente estudo tem como objetivo comparar os resultados de percentual de gordura corporal obtidos a partir da avaliação por ultrassom (BodyMetrix®, BX2000, IntelaMetrix), dobras cutâneas, bioimpedância (Biodynamics Model 450, Biodynamics Shoreline, WA, EUA) e DXA (Lunar Prodigy Primo DXA System, GE Healthcare) de indivíduos eutróficos, com sobrepeso e com obesidade, submetidos ou não à cirurgia bariátrica.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- 1) Avaliar individualmente se a realização de cirurgia bariátrica, a faixa etária, o sexo e o IMC influenciam na concordância dos valores de % gordura corporal entre os métodos avaliados:
- 2) Observar quais métodos possuem concordância de resultados;
- 3) Comparar a concordância dos resultados entre os indivíduos eutróficos, com sobrepeso e com obesidade.

## **4. MÉTODOS**

### **4.1. Delineamento do estudo e seleção dos participantes**

Este estudo trata de uma análise transversal realizada com pacientes assistidos pela Equipe Multidisciplinar do Ambulatório de Terapia Nutricional e Nutrológica na Obesidade Extrema (ETNNO) do Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais (HC-UFMG) em acompanhamento pré e pós-cirurgia bariátrica e com voluntários que foram recrutados por meio das redes sociais.

O critério de inclusão dos participantes selecionados foi ter idade igual ou superior a 18 anos.

Os critérios de exclusão foram: gestação ou lactação, presença de insuficiência renal, cardíaca ou hepática, por alterarem os níveis de hidratação corporal, o que influencia nos resultados da BIA, indivíduos amputados ou que possuíam prótese metálica central (coluna) ou bilateral e indivíduos portadores de marcapasso, que não podem realizar a avaliação por BIA, indivíduos em uso de esteróides anabolizantes ou de medicamentos que influenciam no nível de hidratação corporal, como diuréticos, quimioterápicos e corticosteroides e indivíduos que não conseguiam ficar em pé ou deitados por muito tempo.

Para aqueles pacientes já submetidos à cirurgia bariátrica, não foi delimitado tempo mínimo ou máximo de realização desse procedimento para inclusão no estudo.

O projeto foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais, e aprovado sob o número: 85254724.1.0000.5149. Todos os participantes leram e assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido.

### **4.2. Coleta de dados antropométricos**

Os dados antropométricos dos participantes do estudo foram coletados entre maio de 2024 e julho de 2025.

#### **4.2.1. Peso Corporal**

O peso foi aferido segundo a técnica do Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional/Ministério da Saúde Brasileiro (SISVAN) (37). Para tanto, utilizou-se a balança antropométrica digital da marca (Balmak®) com escala de 100g e carga máxima de 300 kg, disponível no ambulatório ETNNO ou balança mecânica calibrada da marca (Welmy®) com escala de 100g e carga máxima de 150kg para os voluntários recrutados.

#### 4.2.2. Altura

Para avaliar a estatura foi utilizada a técnica preconizada pelo Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional/Ministério da Saúde Brasileiro (SISVAN) (37). Para a medida utilizou-se estadiômetro portátil personal Caprice, Sanny®.

#### 4.2.3. Índice de massa corporal

Com base nos valores obtidos de peso e altura, para adultos, foi calculado o IMC por meio da equação  $\text{peso (kg)}/\text{estatura}^2 \text{ (m)}$ . O resultado foi empregado para classificar o estado nutricional e o nível de obesidade, seguindo os critérios de referência definidos pela Organização Mundial da Saúde (49).

Para adolescentes, foi utilizada a classificação do IMC também conforme os critérios estabelecidos pela OMS. Essa classificação considera as diferenças de idade e sexo, utilizando escores-z específicos para a faixa etária, classificando os indivíduos em baixo peso, eutrofia, sobrepeso e obesidade, de acordo com o IMC para idade e sexo (50).

#### 4.2.4. Composição corporal

Os dados de composição corporal foram obtidos por 2, 3 ou 4 métodos diferentes, dependendo da classificação do IMC e da disponibilidade do voluntário: por bioimpedância elétrica unifrequencial (50 kHz) (Biodynamics Model 450, Biodynamics Shoreline, WA, EUA) e ultrassom portátil modo A (BodyMetrix®, BX2000, IntelaMetrix) em todos os voluntários, adicionalmente por paquímetro clínico (Cescorf®, modelo tradicional) para os indivíduos eutróficos e com sobrepeso recrutados, e por absorciometria de raios X de dupla energia para os indivíduos recrutados que tinham disponibilidade de fazer esse exame.

A avaliação por bioimpedância foi feita seguindo os protocolos sugeridos por Kyle e colaboradores (51). Um acordo geral sobre o período ideal entre a ingestão de alimentos e líquidos e as medições da BIA ainda não foi consolidado, todavia Kaminsky e Whaley compararam as medições da %GC após 3 e 12 horas de jejum e não encontraram diferença significativa entre os valores obtidos (52). Os voluntários foram posicionados em decúbito dorsal sobre uma maca sem o uso de qualquer objeto ou adorno metálico. Os 4 eletrodos foram posicionados da seguinte maneira: dois eletrodos foram colocados na mão direita, um próximo à terceira articulação metacarpofalângica e o outro próximo à cabeça ulnar, e os outros dois foram colocados na superfície dorsal do pé direito, um proximal à terceira articulação metatarsofalângica e o outro entre os maléolos medial e lateral (53).

As medições com o ultrassom portátil foram feitas no lado direito do corpo. O dispositivo foi limpo com álcool isopropílico 70% e conectado por USB ao computador com

software proprietário correspondente BodyView Professional Software®. A medição do tríceps, nas mulheres, foi feita no ponto médio entre a projeção lateral do processo acromial e a margem inferior do processo do olécrano; a medida suprailíaca, também nas mulheres, foi realizada logo acima da crista ilíaca; a medida abdominal foi feita 5 cm à direita do umbigo; a medida da coxa, na metade do caminho entre a prega inguinal e o topo da patela; por fim, a medida do tórax, em homens, foi feita no ponto médio entre a axila e o mamilo (36). As medidas foram feitas aplicando uma quantidade generosa de gel de transmissão à sonda (camada de 3 a 5mm), colocando a sonda nivelada contra a pele no ponto especificado, sendo aplicada pressão mínima para atenuar ao máximo a deformação do tecido. Especificamente nos pacientes com obesidade grave e presença de abdômen avental, as medidas abdominal e da coxa foram feitas com o indivíduo em decúbito dorsal. Todas as medições foram tomadas em duplicata pelo mesmo técnico, sendo uma terceira medida tomada se os dois valores não estivessem dentro de 10%. Os valores foram automaticamente transformados em mm, incorporados à fórmula disponível no software previamente escolhida (Jackson e Pollock 4 dobras para mulheres – tríceps, suprailíaca, abdominal e coxa - e Jackson e Pollock 3 dobras para homens – peitoral, abdominal e coxa) e um valor de %GC foi calculado e mostrado na tela (4,48). Essas fórmulas foram escolhidas por considerarem as medidas de abdômen e coxa, locais com maior acúmulo de gordura corporal, especialmente nos pacientes com obesidade grave.

A espessura das dobras cutâneas foi aferida com precisão de 1mm utilizando um paquímetro Cescorf®. Todas as medições foram realizadas com o indivíduo em pé, sempre no lado direito do corpo. Foram avaliados sete pontos conforme as Normas Internacionais para Avaliação Antropométrica (36) abrangendo tórax, tríceps, subescápula, axila média, suprailíaca, abdômen e coxa. Os valores obtidos foram aplicados nas equações de Jackson-Pollock de sete dobras e três dobras para estimar a densidade corporal em homens [Eq. 1 e Eq. 2] e de sete dobras e quatro dobras para a estimativa em mulheres [Eq. 3 e Eq. 4]. Posteriormente o %GC foi calculado segundo Siri [Eq. 5] (54–57). Essas equações foram escolhidas por serem equações generalizadas para homens de 18 a 61 anos e mulheres de 18 a 55 anos. É sabido que melhores estimativas podem ser alcançadas quando são utilizadas equações validadas em população semelhante àquela que se quer avaliar (58), contudo equações específicas que abrangessem as medidas de abdômen e coxa não estavam disponíveis para comparabilidade no ultrassom.

Equação 1: Densidade corporal para homens por 7 dobras

Densidade corporal =  $1,112 - (0,00043499 \times \sum \text{sete dobras}) + (0,00000055 (\sum \text{sete dobras})^2) - (0,00028826 \times \text{idade})$

Equação 2: Densidade corporal para homens por 3 dobras

Densidade corporal =  $1,1093800 - 0,0008267 (\sum \text{três dobras}) + 0,0000016 ((\sum \text{três dobras})^2) - (0,0002574 \times \text{idade})$

Equação 3: Densidade corporal para mulheres por 7 dobras

Densidade corporal =  $1,097 - (0,00046971 \times \sum \text{sete dobras}) + (0,00000055 (\sum \text{sete dobras})^2) - (0,00012828 \times \text{idade})$

Equação 4: Densidade corporal para mulheres por 4 dobras

Densidade corporal =  $1,0960950 - 0,0006952 (\sum \text{quatro dobras}) + 0,0000011 (\sum \text{quatro dobras})^2 - (0,0000714 \times \text{idade})$

Equação 5: Percentual de gordura

$\%GC = (495/\text{densidade corporal}) - 450$

Por fim, por não ser um exame realizado rotineiramente no ambulatório e não ser acessível a todos os pacientes, aqueles voluntários que puderam foram submetidos à densitometria óssea de corpo inteiro por absorciometria de raios X de dupla energia com no máximo 7 dias de intervalo das outras avaliações. Foi utilizado o equipamento Lunar Prodigy Primo DXA System produzido pela GE Healthcare.

#### 4.3. Análise estatística

Todas as estatísticas foram analisadas usando o software Stata versão 14.2. A amostra foi analisada como um grupo inteiro e então dividida de acordo com sexo, faixa etária, faixa de IMC e realização, não realização e sem indicação para cirurgia bariátrica. As variáveis contínuas foram avaliadas quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. As variáveis paramétricas foram expressas como média  $\pm$  desvio padrão e as não paramétricas como mediana com intervalo interquartil (P25-P75).

Foi feita regressão linear de efeitos mistos, ajustada por IMC, sexo e idade, para comparar

o %GC entre indivíduos submetidos à cirurgia bariátrica e aqueles que não realizaram o procedimento, já que esse modelo considera a correlação entre medidas repetidas de um mesmo indivíduo e permite incluir simultaneamente efeitos fixos e aleatórios. Os resultados foram expressos como coeficientes  $\beta$  acompanhados de intervalos de confiança de 95% (IC95%), sendo considerados estatisticamente significativos os valores de  $p < 0,05$ .

O coeficiente de correlação intraclassa (ICC) foi calculado para verificar a concordância entre os métodos BIA, US, dobras e DXA. O ICC médio indica o grau de concordância entre as médias das medidas enquanto o ICC individual indica o grau de concordância entre medições individuais. O ICC individual é, portanto, mais adequado para avaliação entre métodos, pois analisa a consistência entre cada par de medidas ao contrário do ICC médio que analisa as médias de vários métodos, suavizando erros aleatórios. Para  $ICC < 0,50$  foi considerada baixa concordância, ICC entre 0,50 e 0,75 concordância moderada, ICC entre 0,75 e 0,90 boa concordância e  $ICC > 0,90$  foi considerado como concordância excelente. Foi usado o modelo de efeitos aleatórios bidirecionais e a estimativa de concordância absoluta por considerar tanto os indivíduos avaliados quanto os métodos. A estimativa de concordância absoluta foi utilizada por refletir o grau de similaridade nas medições considerando também diferenças sistemáticas entre os métodos.

## 5. RESULTADOS

Participaram do estudo 251 voluntários e suas características são apresentadas na Tabela 2. Na amostra, 81,67% dos participantes eram do sexo feminino, com uma mediana de idade 47 anos (31-56). A mediana de IMC foi de 30,04 kg/m<sup>2</sup>, sendo apenas 1 participante com baixo peso, 29,08% dos participantes com eutrofia, 20,32% com sobrepeso e 50,2% com obesidade. 48,61% dos voluntários não tinham indicação para cirurgia bariátrica, 12,75% eram do grupo pré-cirúrgico e 38,65% já tinham realizado a cirurgia. Todos os indivíduos tiveram a composição corporal avaliada pela BIA e pelo US e, destes, 87 também foram submetidos à avaliação por dobras cutâneas e 24 à avaliação por DXA. O %GC médio foi de 36,36% pela BIA, pelo US teve a mediana de 36,50%, média de 23,43% pelas dobras cutâneas (equação de Jackson e Pollock de 7 dobras) e de 37,7% pelo DXA.

**Tabela 2: Características dos participantes do estudo.**

Variável	valor	n
Sexo [%]		
Masculino	18,33	46
Feminino	81,67	205
Idade [mediana (IIQ), anos]	47 (31-56)	251
Faixa etária [%]		
18 a 39 anos	37,05	93
40 a 59 anos	45,82	115
60 anos ou mais	17,13	43
Peso [mediana (IIQ), kg]	80,3 (65,6-103,0)	251
Altura [mediana (IIQ), m]	1,63 (1,57-1,70)	251
IMC [mediana (IIQ), kg/m <sup>2</sup> ]	30,04 (24,06-38,19)	251
Estado nutricional [%]		
Baixo peso	0,40	1
Eutrófico	29,08	73
Sobrepeso	20,32	51
Obesidade grau I	15,14	38
Obesidade grau II	11,95	30
Obesidade grau III	23,11	58
Cirurgia bariátrica [%]		
Sem indicação	48,61	122
Pré-cirurgia	12,75	32
Pós-cirurgia	38,65	97
Percentual de gordura corporal		
Bioimpedância [média ± dp]	36,26 ± 10,02	251
Ultrassom [mediana (IIQ)]	36,50 (30,40-41,00)	251
Pregas cutâneas (3 dobras) [média ± dp]*	16,63 ± 6,39	28

Pregas cutâneas (4 dobras) [média ± dp]*	26,48 ± 5,13	59
Pregas cutâneas (7 dobras) [média ± dp]*	23,39 ± 6,75	87
DXA [média ± dp]	37,77 ± 5,85	24

Legenda: IIQ = Intervalo Interquartilico (P25-P75); DXA = Absorciometria de raios X de dupla energia; dp = desvio padrão;

\*avaliação feita apenas com pacientes eutróficos e com sobrepeso

A comparação do %GC entre indivíduos submetidos à cirurgia bariátrica e aqueles que não realizaram o procedimento foi realizada por meio de regressão linear de efeitos mistos, ajustada por IMC, sexo e idade. Não houve variação significativa do %GC entre os métodos na comparação entre os grupos bariátrica e não bariátrica ( $\beta = -0,168$ ; IC95%: -1,385 a 1,049;  $p = 0,787$ ). Na análise individual por método, o ultrassom foi o único que demonstrou diferença estatisticamente significativa de %GC entre os grupos, mostrando que o indivíduo que realizou a cirurgia bariátrica apresenta 2,53 pontos a mais de %GC por US que os que não realizaram a cirurgia, ajustando por IMC, sexo e idade ( $\beta = 2,53$ ; IC95%: 1,387 a 3,674;  $p < 0,001$ ;  $R^2 = 78,32\%$ ). A BIA não apresentou diferença ( $\beta = 1,026$ ; IC95%: -0,009 a 2,061;  $p = 0,052$ ;  $R^2=87,47\%$ ), bem como a DXA ( $\beta = 1,435$ ; IC95%: -4,763 a 7,632;  $p = 0,634$ ;  $R^2=66,49\%$ ).

Em relação à comparação por métodos, foi observada boa concordância individual entre BIA, US e dobras cutâneas (ICC = 0,795; 0,644 – 0,877) e a concordância média foi excelente (ICC = 0,921; 0,844 – 0,955) (Tabela 3). Quando estratificado por sexo, a concordância individual no sexo masculino foi boa (ICC = 0,752; 0,552 – 0,873) e a média foi excelente (ICC = 0,901; 0,787 – 0,954), já para o sexo feminino a concordância individual foi moderada (ICC = 0,546; 0,223 – 0,742) e a concordância média foi boa (ICC = 0,783; 0,463 – 0,896). Em relação à faixa etária, a concordância média para os indivíduos de 18 a 39 anos foi excelente (ICC = 0,930; 0,862 – 0,962).

**Tabela 3: Concordância entre os métodos utilizados (BIA vs. US vs. dobras cutâneas) entre pacientes com eutrofia e sobrepeso.**

Variáveis	ICC (IC95%)	Interpretação da concordância
Geral (n=87)		
Individual	0,795 (0,644-0,877)	Boa
Média	0,921 (0,844-0,955)	Excelente
Valor p	<0,001	
Sexo masculino (n=28)		
Individual	0,752 (0,552-0,873)	Boa
Média	0,901 (0,787-0,954)	Excelente
Valor p	<0,001	
Sexo Feminino (n=59)		

Individual	0,546 (0,223-0,742)	Moderada
Média	0,783 (0,463-0,896)	Boa
Valor p	<0,001	
Faixa etária		
18 a 39 anos (n=65)		
Individual	0,816 (0,676-0,894)	Boa
Média	0,930 (0,862-0,962)	Excelente
Valor p	<0,001	
40 a 59 anos (n=22)		
Individual	0,549 (0,262-0,767)	Moderada
Média	0,785 (0,516-0,908)	Boa
Valor p	<0,001	

Legenda: ICC = Coeficiente de Correlação Intraclasse; IC = Intervalo de Confiança

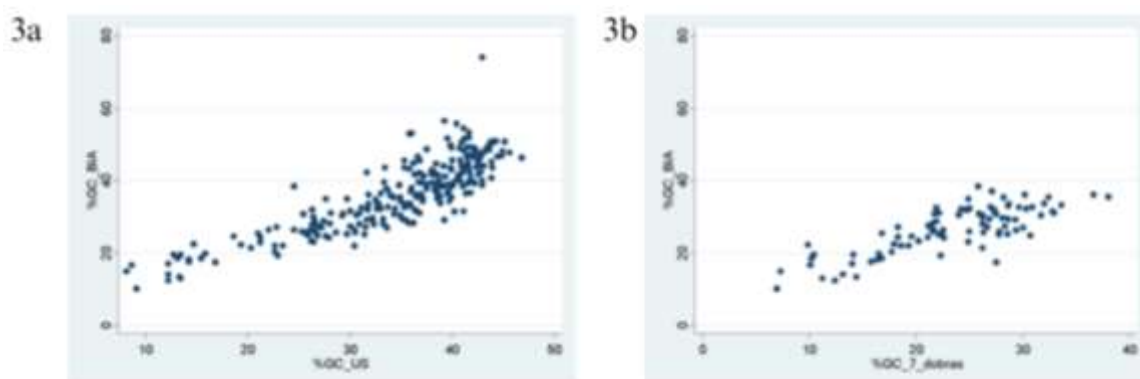
Comparando os resultados da BIA com apenas um dos métodos por vez (Tabela 4), foi encontrada uma boa correlação individual (ICC = 0,827; 0,753 – 0,876) e uma excelente correlação média (ICC = 0,905; 0,859 – 0,934) entre BIA e US. Já entre a BIA e as dobras cutâneas (7 dobras de Jackson e Pollock) a correlação individual foi moderada (ICC = 0,706; 0,302 – 0,857) e a correlação média (ICC = 0,828; 0,464 – 0,923) foi boa.

**Tabela 4: Concordância da BIA com o US e as dobras cutâneas**

Geral (n=251)		
	Individual	Média
BIA vs. US	0,827 (0,753-0,876)***	0,905 (0,859-0,934)***
Interpretação	Boa	Excelente
Geral (n=87)		
	Individual	Média
BIA vs. Dobras	0,706 (0,302-0,857)***	0,828 (0,464-0,923)***
Interpretação	Moderada	Boa

Legenda: BIA = Bioimpedância; US = Ultrassom; \*\*\*Valor p <0,001.

Também foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson (r) para avaliar a relação linear entre os resultados obtidos pelos métodos. Foi obtido  $r=0,857$  ( $p<0,001$ ) entre os %GC de BIA e US e  $r=0,798$  ( $p<0,001$ ) entre os %GC de BIA e 7 dobras cutâneas, indicando associações fortes (Figuras 3a e 3b, respectivamente).

**Figura 3:** Correlação do %GC entre bioimpedância e demais métodos

(a) BIA vs ultrassom (b) BIA vs 7 dobras cutâneas.

Quando essa comparação foi estratificada por IMC (Tabela 5), foi encontrada correlação excelente apenas na correlação média entre BIA e US no grupo de eutrofia (ICC = 0,919; 0,872 – 0,949). A correlação individual nesse grupo e as correlações individual e média entre os participantes com sobrepeso foram boas. Por outro lado, as correlações do grupo dos indivíduos com obesidade foram baixas (ICC individual = 0,306; 0,059 – 0,502. ICC médio = 0,469; 0,110 – 0,668). Já comparando os resultados da BIA versus dobras cutâneas, as correlações individuais tanto no grupo de eutrofia quanto de sobrepeso foram moderadas e ambas as correlações médias foram boas.

**Tabela 5: Concordância da BIA com o US e as dobras cutâneas por IMC**

	Eutrofia (n=73)		Sobrepeso (n=51)		Obesidade (n=126)	
	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
BIA vs. US	0,850 (0,772- 0,903)***	0,919 (0,872- 0,949)***	0,807 (0,685- 0,885)***	0,893 (0,813- 0,939)***	0,306 (0,059- 0,502)***	0,469 (0,110- 0,668)***
Interpretação	Boa	Excelente	Boa	Boa	Baixa	Baixa
	Eutrofia (n=61)		Sobrepeso (n=24)		Obesidade (n=0)	
	Individual	Média	Individual	Média	Individual	Média
BIA vs. Dobras	0,693 (0,046- 0,881)***	0,819 (0,089- 0,937)***	0,680 (0,396- 0,847)***	0,809 (0,567- 0,917)***	-	-
Interpretação	Moderada	Boa	Moderada	Boa	-	-

Legenda: BIA = Bioimpedância; US = Ultrassom; \*\*\*Valor p <0,001.

Para comparar os valores de %GC entre US e dobras cutâneas, utilizamos como referência

as equações de Jackson e Pollock de três dobras para os homens e de quatro dobras para mulheres, já que o software BodyMetrix também utiliza as mesmas equações, e adicionamos também a análise com a equação de 7 dobras (Tabela 6). Para homens, considerando as 3 dobras de Jackson e Pollock, a correlação individual foi boa (ICC = 0,893; 0,783 – 0,949) e a correção média foi excelente (ICC=0,943; 0,878 – 0,974). Já para as mulheres, considerando as 4 dobras de Jackson e Pollock, tanto a correlação individual quanto a média foram moderadas (ICC = 0,580; -0,492 – 0,827 e ICC=0,734; -0,103 – 0,905, respectivamente). Comparando, no geral, os dados obtidos por US com os fornecidos pela equação de 7 dobras cutâneas, os correlações individual e média foram boas, com ICC individual = 0,810; 0,510 - 0,909 e ICC médio =0,895; 0,676 – 0,953.

**Tabela 6: Concordância do US com as dobras cutâneas para homens, mulheres e geral.**

<b>Geral (n=28)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Média</b>
US vs. 3 dobras para homens	0,893 (0,783-0,949)***	0,943 (0,878-0,974)***
Interpretação	Boa	Excelente
<b>Geral (n=59)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Média</b>
US vs. 4 dobras para mulheres	0,580 (-0,492-0,827)***	0,734 (-0,103-0,905)***
Interpretação	Moderada	Moderada
<b>Geral (n=87)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Média</b>
US vs. 7 pregas	0,810 (0,510-0,909)***	0,895 (0,676-0,953)***
Interpretação	Boa	Boa

\*\*\*p<0,001

Quando essa comparação foi estratificada por IMC (Tabela 7), entre os homens eutróficos a correlação individual foi boa (ICC = 0,886; 0,671 – 0,959) e a correlação média foi excelente (ICC = 0,940; 0,803 – 0,979). No subgrupo de sobrepeso as correlações foram boas, com ICC individual = 0,790; 0,404 – 0,938 e ICC médio = 0,883; 0,575 – 0,968. Já entre as mulheres, a correlação individual no subgrupo de eutrofia foi baixa (ICC = 0,445; -0,092 – 0,749) e a média foi moderada (ICC = 0,616; -0,205 – 0,857), sem concordância significativa no grupo de sobrepeso (p=0,104). No geral, considerando a fórmula de 7 dobras de Jackson e Pollock, as correlações individual e média no subgrupo de eutrofia e a correlação média no subgrupo de

sobrepeso foram boas e a correlação individual desse último grupo foi moderada.

**Tabela 7: US versus as dobras cutâneas para homens e mulheres por IMC**

	Eutrofia (n=17)		Sobrepeso (n=11)	
	Individual	Média	Individual	Média
US vs. 3 pregas para homens	0,886 (0,671-0,959)	0,940 (0,803-0,979)	0,790 (0,404-0,938)	0,883 (0,575-0,968)
Valor p	<0,001	<0,001	0,001	0,001
Interpretação	Boa	Excelente	Boa	Boa
	Eutrofia (n=44)		Sobrepeso (n=13)	
	Individual	Média	Individual	Média
US vs. 4 pregas para mulheres	0,445 (-0,092-0,749)	0,616 (-0,205-0,857)	0,209 (-0,137-0,605)	0,346 (-0,318-0,754)
Valor p	<0,001	<0,001	0,104	0,104
Interpretação	Baixa	Moderada	Baixa	Baixa
	Eutrofia (n=61)		Sobrepeso (n=24)	
	Individual	Média	Individual	Média
US vs. 7 pregas	0,807 (0,260-0,927)	0,893 (0,412-0,962)	0,771 (0,544-0,893)	0,871 (0,705-0,944)
Valor p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interpretação	Boa	Boa	Moderada	Boa

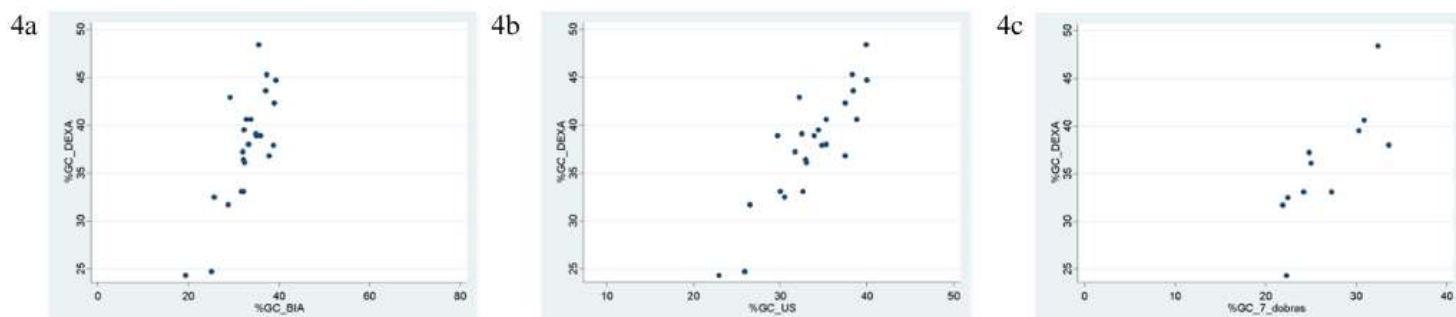
Por fim, comparamos os resultados de composição corporal obtidos pela DXA com os obtidos pelas avaliações com BIA, US e dobras cutâneas (Tabela 8). A correlação individual entre DXA e BIA foi moderada (ICC = 0,548; -0,083 – 0,832) e a correlação média foi boa (ICC = 0,708; -0,182 – 0,908). Entre DXA e US a correlação individual foi moderada (ICC=0,635; -0,080 – 0,881) e a correlação média foi boa (ICC = 0,776; -0,174 – 0,937). Já entre DXA e dobras cutâneas tanto a correlação individual quanto a média foram baixas.

**Tabela 8: Concordância entre DXA, BIA, US e dobras cutâneas**

Geral (n=24)		
	Individual	Média
DXA vs. BIA	0,548 (-0,083-0,832)**	0,708 (-0,182-0,908)**
Interpretação	Moderada	Boa
Geral (n=24)		
	Individual	Média
DXA vs. US	0,635 (-0,080-0,881)**	0,776 (-0,174-0,937)**
Interpretação	Moderada	Boa
Geral (n=10)		
	Individual	Média
DXA vs. Dobras	0,302 (-0,079-0,743)*	0,464 (-0,172-0,853)*
Interpretação	Baixa	Baixa

Legenda: DXA = Absorciometria de raios X de dupla energia; BIA = Bioimpedância; US = Ultrassom; Valor p \*\*<0,001; \*<0,005.

Também foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) para avaliar a relação linear entre os resultados obtidos pelos métodos. Foi obtido  $r=0,778$  ( $p<0,001$ ) entre os %GC de DXA e BIA,  $r=0,872$  ( $p<0,001$ ) entre os %GC de DXA e US e  $r=0,785$  ( $p=0,004$ ) entre %GC de DXA e 7 dobras cutâneas, indicando associações fortes (Figuras 4a, 4b e 4c, respectivamente).

**Figura 4: Correlação do %GC entre DXA e demais métodos.**

US = ultrassom (a) DXA vs BIA (b) DXA vs ultrassom (c) DXA vs 7 dobras cutâneas.

Ao estratificarmos a comparação entre DXA e cada um dos outros métodos por IMC, considerando eutrofia e excesso de peso (indivíduos com sobrepeso e obesidade) (Tabela 9), foi

encontrada uma boa correlação apenas na correlação média entre DXA e US no grupo de excesso de peso (ICC = 0,827; -0,166 – 0,962). As correlações individuais de eutrofia entre DXA e BIA e DXA e US e tanto a correlação média quanto a individual entre DXA e dobras cutâneas foram baixas. As demais correlações encontradas foram moderadas, sendo que não houve correlação significativa entre DXA e dobras cutâneas no grupo de excesso de peso (p=0,152)

**Tabela 9: Concordância da DXA com a BIA, US e dobras por IMC**

	Eutrofia (n=12)		Excesso de peso (n=12)	
	Individual	Média	Individual	Média
DXA vs. BIA	0,351 (-0,120-0,751)	0,520 (-0,272-0,858)	0,611 (-0,083-0,889)	0,758 (-0,180-0,941)
Valor p	0,012	0,012	0,001	0,001
Interpretação	Baixa	Moderada	Moderada	Moderada
	Eutrofia (n=12)		Excesso de peso (n=12)	
	Individual	Média	Individual	Média
DXA vs. US	0,428 (-0,118-0,802)	0,599 (-0,269-0,890)	0,705 (-0,077-0,927)	0,827 (-0,166-0,962)
Valor p	0,005	0,005	<0,001	<0,001
Interpretação	Baixa	Moderada	Moderada	Boa
	Eutrofia (n=7)		Excesso de peso (n=3)	
	Individual	Média	Individual	Média
DXA vs. Dobras	0,115 (-0,021-0,541)	0,206 (-0,043-0,702)	0,580 (-0,273-0,985)	0,734 (-0,751-0,992)
Valor p	0,016	0,016	0,152	0,152
Interpretação	Baixa	Baixa	Moderada	Moderada

Legenda: DXA = Absorciometria de raios X de dupla energia; BIA = Bioimpedância elétrica; US = Ultrassom;

## 6. DISCUSSÃO

Este estudo avaliou a concordância entre BIA, US, dobras cutâneas e DXA na estimativa do %GC em adultos com eutrofia, sobrepeso e obesidade, incluindo 97 indivíduos submetidos à cirurgia bariátrica. A avaliação precisa da composição corporal é essencial para o acompanhamento clínico e para a escolha das intervenções em saúde, especialmente em indivíduos com obesidade e utilizar apenas o IMC para avaliar a obesidade é questionável, pois não identifica nem discrimina componentes corporais (2,7). Foi utilizado o Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC) para medir o grau de concordância e consistência entre medições de uma mesma variável, no caso o %GC.

No geral, em indivíduos com eutrofia e sobrepeso foi observada uma boa concordância individual e uma excelente concordância média entre os métodos de campo, com melhor correspondência de %GC dos métodos entre os homens.

Quando comparados com o método padrão-ouro (DXA) as concordâncias foram menores, provavelmente pelo pequeno número de indivíduos incluídos nas análises e pelas diferenças metodológicas de mensuração do %GC pelos métodos indiretos e o de referência. Os métodos de campo utilizados neste estudo levam em consideração a hidratação, o uso de equações preditivas e a localização da gordura a ser medida e os resultados variam com o preparo por parte do participante, o aparelho utilizado e com o nível de habilidade do avaliador. Já a DXA é muito menos sensível ao estado de hidratação e ao avaliador.

Resultados específicos serão discutidos a seguir.

### 6.1. Bariátricos vs não bariátricos

No presente estudo, não foram observadas diferenças significativas no %GC entre os métodos entre indivíduos submetidos e não submetidos à cirurgia bariátrica, após ajuste por IMC, sexo e idade. De acordo com a análise de regressão de efeitos mistos, a BIA apresentou o maior poder explicativo ( $R^2=87,47\%$ ), o que sugere que esses parâmetros são muito bons preditores do %GC nesse método. A DXA apresentou menor poder ( $R^2=66,49\%$ ), o que significa que apenas cerca de 2/3 da variação do %GC por esse método foi explicada pelo modelo, o que pode estar relacionado com a pequena amostra de indivíduos submetidos à avaliação por esse método. O US apresentou poder explicativo intermediário ( $R^2 = 78,32\%$ ), demonstrando que o modelo explica boa parte da variabilidade, mas ainda há espaço para fatores não incluídos influenciarem a medida. Ele foi o único método que demonstrou diferença estatisticamente significativa de %GC entre os grupos, mostrando que o indivíduo que realizou a cirurgia bariátrica apresenta

2,53 pontos a mais de %GC que os que não realizaram a cirurgia, ajustando por IMC, sexo e idade. É importante considerar que o US utilizado neste estudo possui limitação de profundidade de 100 mm para mensuração do tecido. Em indivíduos com acúmulo de gordura subcutânea mais expressivo, parte da espessura do tecido pode não ter sido captada pelo aparelho, influenciando a estimativa do %GC. Adicionalmente, os pacientes pós-cirurgia bariátrica têm perda da elasticidade da pele decorrente do desarranjo tecidual em toda a sua espessura (59), o que pode influenciar negativamente na precisão da identificação da espessura da camada de gordura pelo US. Essas limitações podem contribuir para a diferença significativa observada apenas pelo US, sugerindo cautela na interpretação dos resultados nesse subgrupo.

Os achados deste estudo sugerem portanto que, quando sexo, idade e IMC são semelhantes, o %GC estimado tende a ser comparável entre os grupos, o que está de acordo com o encontrado no estudo de Skogar et al. feito com 27 indivíduos que realizaram CB há pelo menos 2 anos e 17 controles pareados por idade e IMC que tiveram a composição corporal analisada por pletismografia de deslocamento de ar. Não houve diferenças significativas em MLG, MG, razão MLG/MG, %MLG ou %MG entre os grupos. O estudo não alcançou poder estatístico para a análise de comparação por sexo (60). O estudo de Tacchino e colaboradores (61) também está em concordância com o nosso. Ele foi realizado com 101 mulheres submetidas à CB há 2 anos, pareadas por sexo, idade e IMC comparadas à 53 controles. Os grupos foram avaliados por DXA e também não foram observadas diferenças na MG entre os grupos, apesar de as mulheres operadas apresentarem maiores valores de MM. Ainda que haja semelhanças de achados, o tempo de pós-operatório no nosso estudo não foi padronizado e os métodos utilizados na avaliação da composição corporal diferem, sendo que Skogar e colaboradores (60) e Tacchino e colaboradores (61) utilizaram métodos laboratoriais, que têm maior precisão de resultados. Nosso estudo incluiu apenas 1 participante pós-operatório na avaliação por DXA e não foi feita avaliação por pletismografia por deslocamento de ar, impedindo a comparação direta desses resultados.

Na contramão dos nossos resultados, o estudo de Tangjitrong e colaboradores (62), feito com 60 indivíduos, sendo 30 submetidos à cirurgia bariátrica há 1 ano e 30 controles também pareados por sexo, idade e IMC, mostrou que, 1 ano após a cirurgia bariátrica, os pacientes operados apresentaram valores inferiores de gordura na região do tronco, de RCQ e de %GC em comparação ao grupo controle, tendo sido avaliados pela bioimpedância Inbody 770. Os pacientes operados apresentaram valores significativamente mais elevados de MLG, massa magra mole (MMM), massa muscular esquelética (MME) e MM no tronco, mesmo sem diferenças significativas na ingestão total de proteínas e no nível de atividade física. Essa

discrepância com os nossos resultados pode ter ocorrido devido às diferenças no tempo de pós-operatório dos pacientes avaliados, às diferenças amostrais de cada estudo, já que nossa amostra contou com 97 operados e aos distintos modelos de bioimpedância utilizados. Nosso equipamento (Biodynamics Model 450) é um modelo de frequência única e a Inbody 770 é multifrequencial, o que permite melhor mensuração da água intracelular e, portanto, da MM (2).

Os resultados deste trabalho também destoam dos encontrados no de Santini e colaboradores, que comparou parâmetros de composição corporal avaliados por DXA de 41 mulheres pós-menopausa submetidas à cirurgia bariátrica há pelo menos 2 anos com controles pareados por idade e IMC. Os resultados mostraram que as mulheres que realizaram o procedimento apresentaram %GC significativamente menor que os controles, além de menor gordura visceral e conseqüentemente maior %MM (63). Em concordância, os trabalhos de Strain e colaboradores, que avaliou 504 indivíduos por bioimpedância, sendo 252 submetidos à cirurgia bariátrica (64), e o de Andersson et al., com 147 pessoas pós-bariátricas e 69 controles avaliados por DXA (65), que também parearam os indivíduos pós CB há pelo menos 2 anos com controles por sexo, idade e IMC também encontraram menores valores de %GC dentre àqueles operados. Isso reforça que, em algumas populações, a cirurgia pode promover mudanças detectáveis mesmo após ajuste por IMC e idade.

Apenas o estudo de Oliveira et al. (66) utilizou mais de um método para analisar as diferenças de composição corporal de indivíduos submetidos à CB com controles e encontrou correlação positiva entre BIA e DXA para MG ( $r=0,842$ ), porém não foi feito pareamento de sexo, idade e IMC como no nosso estudo, sendo então observada diferença significativa no %GC entre os grupos. Vale destacar a escassez de estudos que comparam a composição corporal de indivíduos submetidos à CB e controles pareados utilizando o US como método, impossibilitando a comparação do nosso resultado específico para esse método.

Sendo assim, essa inconsistência de resultados pode ser explicada pelos diferentes métodos utilizados para avaliar a composição corporal, já que diferentes aparelhos apresentam sensibilidades distintas para gordura subcutânea, visceral e massa magra (2,8,45); pelos variados tempos pós-cirurgia, uma vez que a composição corporal pode variar substancialmente entre diferentes momentos pós-cirúrgicos. Especialmente nos primeiros 2 anos após a realização da cirurgia o paciente vivencia uma perda de peso mais expressiva. Após esse período, pode ocorrer uma estabilização do peso ou até mesmo reganho, dependendo dos hábitos e da adesão às recomendações nutricionais (67); e pela heterogeneidade amostral, principalmente em relação ao tamanho da amostra e ao pareamento dos controles. Nesse sentido, são necessários mais estudos transversais e longitudinais, com padronização do tempo pós-cirurgia e inclusão de múltiplos

métodos de avaliação para elucidar de forma mais precisa as mudanças na composição corporal após a cirurgia bariátrica.

## **6.2. Influência do sexo e do IMC**

Os melhores resultados de concordância de %GC foram observados nos homens e no grupo dos eutróficos, com menor concordância entre os métodos no grupo de indivíduos com obesidade, especialmente entre BIA e US.

Diversos estudos corroboram a melhor concordância de métodos no sexo masculino (68–72). Isso pode explicado por uma maior variabilidade da distribuição de gordura em mulheres, pela região em que a gordura é mais depositada nesse público (glúteo-femoral) e pela maior flutuação do estado de hidratação devido a variações hormonais (73,74). Com isso, há tendência de uma melhor performance dos métodos e das equações preditivas em homens, o que de fato pôde ser observado em nosso estudo, mesmo com a menor proporção de indivíduos do sexo masculino (18,33% da amostra), reforçando a maior constância na distribuição da composição corporal nesse grupo (75,76).

Uma possível explicação para a baixa concordância dentre os indivíduos com alto IMC é o aumento da MM e a menor proporção de ACT, o que influencia na precisão da avaliação do %GC por diferentes métodos, especialmente a BIA, que tem seus resultados influenciados pelo nível de hidratação corporal (2,72,76). Os aumentos do IMC e do %GC estão relacionados com a diminuição da %ACT, sendo observados o aumento da AEC e a diminuição da AIC. Isso porque uma pequena parte da AEC está contida na MG, sendo assim, quanto maior a MG maior é o compartimento extracelular (77). Outro ponto complementar é a limitação da mensuração da profundidade do tecido pelo US em 100 mm, o que restringe a aferição da medida em locais com maior acúmulo de gordura, como abdômen e coxa, aumentando o erro de medição e contribuindo para a menor concordância entre esse método e a BIA, principalmente nos indivíduos com obesidade.

## **6.3. BIA x US**

Os resultados encontrados neste estudo evidenciaram, entre todos os métodos, a melhor concordância entre BIA e US (n=251), tanto individual (ICC = 0,827; 0,753-0,876) quanto média (ICC = 0,905; 0,859-0,934), exceto em indivíduos com obesidade, como explicado acima, para os quais a concordância foi baixa possivelmente pelas alterações na hidratação e na MM desse grupo e pela limitação de mensuração do US.

O estudo de Bondareva e colaboradores (78) com 206 mulheres russas de todas as faixas de IMC, mas em sua maioria com peso normal, também não encontrou diferenças entre esses métodos na estimativa de MG, %GC e MLG em nível geral, usando uma BIA de frequência única (50 kHz) específica para a população russa e US BodyMetrix®. Contudo, a nível individual, diferente deste estudo, os autores destacaram que houve baixa concordância na estimativa de %GC e MLG e foi encontrada uma concordância moderada para MG. A diferença entre os valores de MG obtidos pelos dois métodos aumentou com o aumento do IMC e do %GC. A BIA utilizada no estudo russo é específica para essa população e quando comparada à um equipamento de referência (Tanita) demonstrou alta correlação para resistência de corpo inteiro, contudo o dispositivo russo superestimou a MG significativamente (diferença mediana de 3,3 kg, IC de 95%: 2,9 - 3,6 kg, com amplos limites de concordância para a diferença de MG (-2,0; 8,6 kg)) em relação à BIA de referência, devido às diferentes equações utilizadas nos aparelhos (79).

Em contrapartida com nossos achados, Rosenberg et al. (80) avaliaram a composição corporal de 106 mulheres com câncer de mama e observaram forte correlação positiva entre o %GC por BIA de frequência única (3 MHz) e ultrassom portátil BodyMetrix® naquelas com ou sem obesidade. Todavia a BIA produziu valores de %GC significativamente maiores que o US ( $38,0 \pm 0,8\%$  vs.  $34,6 \pm 0,7\%$ ,  $p < 0,001$ ), exceto entre as mulheres com peso normal ( $30,2 \pm 0,9$  vs.  $30,0 \pm 0,8\%$ ). Ao avaliarem apenas as mulheres com  $IMC < 26 \text{ kg/m}^2$  não houve diferença entre os valores de %GC encontrados pela BIA e pelo US, ou seja, os métodos apresentaram precisão semelhante (80).

As discrepâncias entre os resultados dos estudos podem ser explicadas (a) pelo uso de diferentes equipamentos de BIA, que usam diferentes frequências. Os aparelhos multifrequenciais e unifrequenciais com frequências maiores ( $>50 \text{ MHz}$ ) são mais precisos, pois conseguem medir a água intracelular, já que a corrente elétrica emitida em alta frequência consegue penetrar nas células de maneira mais eficiente, revelando uma estimativa mais fidedigna de MM (2); (b) pelas diferenças médias de %GC das populações estudadas, o que está relacionado com diferenças na hidratação corporal, que por sua vez influencia na mensuração da composição corporal pela BIA, como explicado anteriormente (77); (c) pelo possível acúmulo de gordura em tecidos ectópicos em pessoas com sobrepeso e obesidade (12), não mensurado pelo ultrassom, que é limitado à avaliação da espessura do tecido de gordura subcutâneo, mas identificado pela BIA como parte da MG (81); e (d) pelo fato de a maioria das equações usadas nas análises de BIA não gerarem bons resultados se utilizadas em grupos para os quais não foram validadas e serem incapazes de determinar a composição corporal em populações com obesidade devido à desproporção entre a massa corporal e a condutividade do corpo desses indivíduos, o

que reduz a precisão desse método nesse grupo (72,80,82).

#### 6.4. BIA x dobras cutâneas

Entre os métodos de BIA e dobras cutâneas (n=87), a concordância geral média foi boa para todos os indivíduos (ICC média = 0,828; 0,464-0,923) e também para os grupos de eutróficos (ICC = 0,819; 0,089-0,937) e sobrepeso (ICC = 0,809; 0,567-0,917), quando realizada essa estratificação. Na mesma linha, as concordâncias individuais foram moderadas. Ambos os métodos medem indiretamente a composição corporal e vale destacar que a avaliação por dobras cutâneas depende fortemente da habilidade do avaliador, da correta identificação dos pontos anatômicos, da compressibilidade do tecido adiposo e assume que as medidas tomadas nos pontos escolhidos representam uma razão constante da gordura subcutânea total (12,36,38). Já a BIA sofre influência direta da hidratação corporal total e da proporção AEC/AIC. Todos esses fatores contribuem para a presença de erros na aferição da composição corporal. (83).

Em concordância com os achados deste estudo, Kogure e colaboradores (41) encontraram um Coeficiente de Concordância de Lin moderado (0,55) para os valores de %GC obtidos pelas dobras usando a equação de Jackson, Pollock e Ward, que usa 3 dobras cutâneas (dobras tricipital, suprailíaca e da coxa) e pela BIA (Biodynamics, modelo 310e, unifrequencial 50kHz) em 90 mulheres em idade reprodutiva. Diferentemente do Coeficiente de Correlação Intraclasse (ICC), o Coeficiente de Concordância de Lin (CCC) mede a concordância absoluta dos dados. Assim, mesmo que dois métodos apresentem correlação elevada, a concordância de Lin pode revelar discordância significativa caso haja viés sistemático ou diferenças de escala entre eles (41). Portanto, a utilização do Coeficiente de Lin complementa a análise do ICC, permitindo avaliar não apenas se as medidas variam de forma semelhante, mas também se os valores obtidos são de fato comparáveis no plano absoluto

Usando a fórmula de Petroski (dobras subescapular, tricipital, suprailíaca e da panturrilha), validada para adultos do sul do Brasil, em comparação com a BIA (Biodynamics, modelo 310e), Arlindo e colaboradores observaram boa concordância entre os métodos na mensuração do %GC de 292 homens e mulheres dessa região ( $R^2=0,69$ ). Contudo as dobras forneceram valores significativamente mais altos de %GC em relação à BIA em 1,2 a 3,5 pontos percentuais, especialmente entre os homens, pessoas com 40 anos ou mais, pessoas com sobrepeso e aquelas com  $RCE \geq 50$  (84).

Vansant et al. encontraram forte correlação entre o %GC de 449 pessoas de todas as

faixas de IMC avaliadas por BIA (RJL Systems, BIA-101, Detroit; unifrequencial, 50kHz) e dobras ( $r=0,84$ ;  $p < 0.0001$ ), utilizando as fórmulas de Durnin e Womersley (dobras tricipital, do bíceps, subescapular e suprailíaca), mas concluiu que os métodos não são diretamente comparáveis, já que observaram que as dobras fornecem valores significativamente mais altos de MG em indivíduos magros (em IMC entre 20 e 25 kg/m<sup>2</sup> BIA mostrou em média 13% menos gordura que as dobras;  $p < 0.0001$ ). Em indivíduos com obesidade, foi observado o contrário: a BIA fornece valores significativamente maiores de MG (em IMC > 30 kg/m<sup>2</sup> BIA mostrou 15% mais gordura que as dobras;  $p < 0.0001$ ). Em indivíduos com IMC de 25 a 30 kg/m<sup>2</sup> não foram observadas diferenças significativas de %GC entre os métodos (83).

. Os resultados encontrados neste estudo, que apontam para uma boa concordância média entre BIA e dobras cutâneas, corroboram evidências anteriores de que esses métodos apresentam associação relevante na estimativa do %GC. No entanto, é importante destacar que a magnitude dessa concordância pode variar em função da população avaliada e da equação preditiva aplicada às dobras, do equipamento de BIA utilizado e de características individuais, como sexo, idade e distribuição de gordura corporal, portanto a interpretação desses resultados requer cautela. Os achados apresentados nessa seção reforçam que, além da correlação, deve-se considerar o viés direcional dos métodos, que pode levar a interpretações distintas dependendo do perfil do avaliado, principalmente o estado nutricional, que influencia de maneira não uniforme as discrepâncias entre os métodos. É fundamental selecionar fórmulas específicas e validadas para a população em estudo ao converter a densidade corporal em %GC. O uso indiscriminado de equações baseadas na espessura das dobras cutâneas, sem validação prévia ou desenvolvidas para populações distintas, pode gerar erros significativos na estimativa da composição corporal (52,85).

Esse padrão reforça a importância de distinguir consistência estatística (avaliada pelo ICC) de concordância absoluta (avaliada pelo coeficiente de Lin). Enquanto o ICC elevado pode indicar que os métodos variam de forma semelhante, o coeficiente de Lin e as análises de viés revelam que a equivalência em valores absolutos não é garantida. Dessa forma, a boa concordância observada neste estudo não deve ser interpretada como equivalência entre BIA e dobras, mas sim como indicativo de que ambos captam variações no %GC de maneira consistente, ainda que com tendências sistemáticas próprias.

## **6.5. US x dobras cutâneas**

Na comparação entre US e dobras cutâneas, para todos os indivíduos ( $n=87$ ), foram

observadas boas concordâncias gerais individual (ICC = 0,810; 0,510-0,909) e média (ICC = 0,895; 0,676-0,953). Quando estratificado por IMC, as concordâncias foram boas no grupo de eutróficos (ICC individual = 0,807; 0,260-0,927 e ICC média = 0,893; 0,412-0,962) e moderada (ICC individual = 0,771; 0,544-0,893) e boa (ICC média = 0,871; 0,705-0,944) no grupo de sobrepeso.

Ao fazer a divisão por sexo, a concordância geral individual entre os homens foi boa (ICC = 0,893; 0,783-0,949) e a concordância média foi excelente (ICC = 0,943; 0,878-0,974). Entre as mulheres, as concordâncias gerais individual (ICC = 0,580; -0,492-0,827) e média (ICC = 0,734; -0,103-0,905) foram moderadas, porém com grande intervalo de confiança incluindo valores negativos, o que sugere baixa precisão estatística na estimativa do ICC, possivelmente relacionada ao tamanho amostral e à maior variabilidade intragrupo. Ou seja, o ICC não conseguiu distinguir se a diferença entre os valores veio realmente de diferenças de %GC entre as mulheres ou se veio de diferenças dos métodos. Sendo assim, os menores valores observados nas mulheres podem indicar não apenas imprecisão, mas também baixa concordância real entre os métodos, influenciada por fatores metodológicos e pelas diferenças no padrão de distribuição de gordura corporal entre os sexos (73,74). Assim, os achados devem ser interpretados com cautela, uma vez que não é possível concluir de forma robusta sobre a equivalência dos métodos nesse subgrupo.

Num estudo com 53 participantes que comparou a medição de 56 locais anatômicos com o paquímetro e com um ultrassom modo B (86), foi observado que o paquímetro mede claramente menos tecido do que o ultrassom, principalmente quando há mais gordura subcutânea, já que a camada mais profunda de gordura não consegue ser incorporada à prega cutânea, portanto os métodos não são intercambiáveis (86). Apesar de ter sido utilizado o ultrassom em modo diferente de nosso, isso pode explicar em parte porque a concordância foi incerta na população feminina do nosso estudo, já que as mulheres apresentam maior %GC do que os homens. Neste estudo utilizamos o US modo A, cuja análise baseia-se na amplitude do eco em relação ao tempo que o pulso leva para retornar, permitindo estimar a profundidade do tecido avaliado. Esse modo oferece controles bastante precisos, mas utiliza apenas um único feixe de eco, o que limita a quantidade de informações obtidas. Já o US modo B gera imagens bidimensionais considerando a distância do transdutor e a intensidade do eco refletido por cada tecido, resultando em imagens anatômicas proporcionais à realidade, tanto em profundidade quanto em extensão (87).

Em concordância com este estudo, ao avaliarem 45 atletas, sendo 22 homens e 23 mulheres, por pletismografia de deslocamento de ar, ultrassom BodyMetrix® e dobras cutâneas

(usando 3 pontos de Jackson e Pollock para ambos os sexos), Wagner et al. (88) observaram uma concordância razoavelmente boa entre os técnicos e métodos para os atletas do sexo masculino, mas não para as atletas do sexo feminino. Contudo, considerando ambos os sexos, os métodos produziram valores de %GC significativamente diferentes ( $F = 13,24$ ,  $p < 0,01$ ,  $\eta^2 = 0,24$ ) (88).

Ingle et al. (89), num estudo com 43 homens entre 18 e 40 anos, compararam o %GC por dobras cutâneas e ultrassom usando os pontos da fórmula de Durnin e Womersley para fazer as medições (bicipital, tricaptal, subescapular, suprailíaca). Foi visto que os métodos apresentaram correlação significativa, contudo os valores de %GC por ultrassom foram significativamente menores do que os obtidos pelas dobras cutâneas (89).

Lewandowski e colaboradores compararam os valores brutos de espessura de tecido adiposo obtidas por ultrassom e dobras cutâneas de 58 mulheres jovens adultas e concluíram que as medições realizadas por ambos os métodos foram positivamente correlacionadas, mas os valores obtidos foram diferentes, com maiores valores coletados pelas dobras cutâneas. Esse resultado já é esperado, visto que ao utilizar o paquímetro, a medição envolve a dobra junto a uma camada dupla de pele, enquanto, no caso do scanner de ultrassom, as ondas precisam atravessar apenas uma única camada cutânea. Apesar da diferença no valor absoluto, é lógico assumir uma alta correlação entre os métodos porque ambos medem a gordura subcutânea (90).

É importante lembrar que o ultrassom usa equações derivadas das dobras e isso pode explicar a correlação parcial. É fundamental definir com clareza quais locais apresentam equivalência nas medições, sobretudo quando a estimativa de gordura corporal é realizada por meio do paquímetro. A compressão do tecido parece contribuir para as diferenças observadas entre os métodos, já que o paquímetro tende a comprimir mais o tecido adiposo do que o ultrassom ao mesmo tempo que não consegue incorporar toda a espessura do tecido adiposo no instrumento. Regiões com tecido adiposo subcutâneo formado por duas camadas de gordura e com maior acúmulo de gordura, como o abdômen, exigem atenção especial.

## 6.6. DXA

As correlações individuais entre DXA e BIA ( $n=24$ ) e DXA e US ( $n=24$ ) foram moderadas e as gerais foram boas, contudo foi observado um amplo intervalo de confiança. Entre DXA e as dobras cutâneas ( $n=10$ ), as correlações foram baixas, também com amplo intervalo de confiança. Isso pode ser explicado pelo baixo número amostral (24 indivíduos e 10 indivíduos), o que limitou confiabilidade da análise estatística.

Num estudo feito com uma amostra de 23 homens brasileiros (91), foi observado alto

coeficiente de correlação de concordância entre BIA e DXA, mas foi visto que BIA subestimou o %GC em 4,4% em média, diferença que foi estatisticamente significativa (91).

Tinsley et al. concluíram que DXA e BIA não mostraram um nível útil de concordância em 48 homens e mulheres jovens ativos fisicamente, em sua maioria eutróficos. A BIA subestimou o %GC em relação à DXA para quase todas as participantes do sexo feminino, e essa subestimação foi mais pronunciada naquelas com menor %GC. Nos homens, a BIA subestimou MG e superestimou MM em relação a DXA, mas a magnitude foi menor do que nas mulheres (69). Em concordância, Leahy e colaboradores também obtiveram resultados da BIA subestimando %GC em comparação com DXA num grande grupo de pessoas, com valores mais acentuados na população do sexo feminino, porém nesse estudo a subestimação pela BIA se tornou mais evidente à medida que a % de gordura corporal aumentou (70). Kogure et al. também não encontraram boa concordância de %GC entre DXA e BIA e DXA e dobras cutâneas na avaliação de 90 mulheres em idade reprodutiva (41).

Em relação a indivíduos com obesidade, o estudo de validação de Faria e colaboradores (72), feito com 73 participantes, em sua maioria mulheres, mostrou que a BIA tende a subestimar as medidas de MG (kg e %GC) e superestimar as medidas de MLG (kg e %MLG) quando comparado com DXA. Foi observado um ICC = 0,736 para o %GC entre os métodos, o que está de acordo com o ICC médio encontrado neste estudo entre os pacientes com excesso de peso (ICC médio = 0,758) (72).

No mesmo sentido, Achamrah et al., ao compararem as avaliações por DXA e BIA de 3.655 indivíduos (653 homens e 3.002 mulheres), encontraram falta de concordância entre os métodos em nível individual, independentemente do IMC. Para  $IMC \geq 18,5$  e  $IMC < 40$ , a BIA também superestimou a MLG e subestimou a MG em comparação com DXA, sendo observadas maiores diferenças com o aumento de IMC dentro da faixa de eutrofia. Por outro lado, foi observada uma acurácia populacional razoável especialmente para MG, apesar dos amplos limites de concordância para MG e MLG, tanto em níveis individual quanto geral (71).

Outros estudos encontraram resultados semelhantes (23,92,93), sugerindo que a precisão da BIA é afetada negativamente pela adiposidade, o que pode ser justificado, como dito anteriormente, em parte pelo uso de equações inadequadas para essa população, já que a maioria foi desenvolvida em indivíduos com peso normal, e também pela variabilidade de hidratação (71). No equipamento de BIA utilizado neste estudo não é possível selecionar a equação desejada e a utilizada não é divulgada pela empresa. Adicionalmente, embora a DXA seja considerada um método de referência para avaliação da composição corporal, ela também tem limitações em indivíduos com maior grau de adiposidade (93,94). Além de alguns equipamentos possuírem

restrições quanto ao peso corporal, largura e comprimento, a espessura corporal, especialmente do tronco, também pode influenciar nos resultados (95). LaForgia et al. (96) observaram superestimação da massa gorda com espessuras teciduais >20cm. Por fim, como os cálculos da DXA pressupõem uma distribuição uniforme dos tecidos moles entre tronco e membros, a presença de maior acúmulo de gordura em regiões específicas, especialmente no tronco, pode levar à subestimação desses valores, reduzindo a precisão da avaliação (9).

Em relação à concordância entre DXA e ultrassom, neste estudo a concordância média geral foi boa e a individual foi moderada. Nesse sentido, no estudo de Olinto e colaboradores (91), com 23 homens brasileiros, também foi observada correlação moderada entre esses dois métodos, com o ultrassom subestimando significativamente o %GC. Na mesma direção, Kang et al. (97), ao compararem a composição corporal de 105 homens saudáveis jovens entre DXA e ultrassom observaram alta correlação entre o método padrão e o protocolo de 7 dobras por Jackson e Pollock ( $r=0,92$ ). Em contrapartida, Johnson et al. encontraram diferenças significativas entre os dois métodos ao avaliarem 84 homens e mulheres jovens e saudáveis (98).

Numa revisão sistemática de 2024, Ferreira e colaboradores encontraram validade do ultrassom portátil modo A BodyMetrix® quando comparado ao método de referência (DXA, pletismografia por deslocamento de ar ou pesagem hidrostática) por forte correlação, com melhores resultados relacionados a amostras com mais de 100 participantes, sexo masculino e associação das medidas do US com perímetros corporais (99). Outro estudo, em linha com a literatura, feito com 135 homens e mulheres jovens também encontrou concordância entre os métodos, com maior acurácia entre os homens (75).

Esses achados sugerem que a variabilidade anatômica e a maior heterogeneidade na distribuição de gordura subcutânea entre mulheres impactam negativamente a precisão do ultrassom para predição do %GC quando comparado ao DXA.

### **6.7. Limitações e contribuições à literatura**

Nosso estudo possui algumas limitações. Não foi feita uma padronização do tempo de pós-cirurgia bariátrica e o número reduzido de participantes submetidos à avaliação por DXA pode ter limitado a análise de subgrupos e influenciado a estimativa da concordância com esse método. A não exigência de preparo específico pelos laboratórios que realizaram o DXA, como jejum e restrição de exercício físico, para realização desse exame também pode ter influenciado nos resultados (20). De acordo com Blue e colaboradores, a realização de refeições antes de ser submetido à DXA pode ser associada a aumento dos valores de massa magra do tronco e do

corpo todo e a prática de exercício físico pode acarretar em aumento da MM nos membros e diminuição no tronco (9).

O predomínio de mulheres na amostra pode ter influenciado os resultados gerais de concordância, levando em consideração a amostra completa. O desbalanceamento entre categorias de IMC e a falta de avaliação dos resultados levando em consideração a diferença de etnia/cor podem restringir a generalização dos resultados para populações diferentes. Outro ponto é que os métodos indiretos de composição corporal dependem de equações preditivas, que podem não ter sido validadas para todos os perfis da amostra e podem ter desempenho inferior em indivíduos com obesidade ou alterações na massa magra.

Este estudo apresenta diversos pontos fortes. Em primeiro lugar, o tamanho da nossa amostra total foi relativamente grande (251 participantes). Ademais, avaliamos simultaneamente quatro métodos de estimativa de composição corporal (BIA, US, dobras cutâneas e DXA), permitindo uma análise abrangente da concordância entre técnicas de campo e o padrão-ouro. Além disso, a inclusão de indivíduos com diferentes estados nutricionais, incluindo participantes submetidos à cirurgia bariátrica, possibilitou explorar o desempenho dos métodos em diferentes cenários clínicos. Outro diferencial foi a estratificação detalhada por sexo, faixa etária e IMC, que evidenciou variações importantes na concordância. Por fim, o uso de análises estatísticas robustas, incluindo coeficiente de correlação intraclassa (ICC), regressão linear de efeitos mistos e correlação de Pearson, fortalece a confiabilidade dos achados.

Ainda assim, esses achados contribuem para a compreensão da aplicabilidade clínica de métodos alternativos à DXA. A boa concordância entre BIA e ultrassom, especialmente em indivíduos eutróficos, reforça o potencial dessas técnicas como ferramentas viáveis na prática clínica, desde que interpretadas levando em consideração as características do paciente.

## 7. CONCLUSÃO

Este estudo comparou a concordância entre BIA, US, dobras cutâneas e DXA na estimativa do percentual de gordura corporal em adultos com diferentes estados nutricionais, incluindo indivíduos submetidos à cirurgia bariátrica. De forma geral, a concordância entre os métodos de campo foi boa, especialmente entre BIA e ultrassom em indivíduos eutróficos, sugerindo que essas técnicas podem ser alternativas viáveis na prática clínica quando o acesso ao método de referência é limitado. Entretanto, a concordância com o DXA foi menor, principalmente em indivíduos com obesidade e no sexo feminino, possivelmente em razão de diferenças metodológicas, influência da hidratação e limitações inerentes às equações preditivas utilizadas.

Apesar de não terem sido observadas diferenças significativas no %GC entre bariátricos e não bariátricos após ajuste por IMC, sexo e idade, a variabilidade de resultados na literatura reforça a necessidade de considerar tempo de pós-operatório, método de avaliação e características da amostra ao interpretar os dados.

Estes achados indicam que, embora métodos indiretos possam oferecer boa estimativa populacional, sua aplicação em nível individual exige cautela e interpretação contextualizada. Estudos futuros, com maior número de indivíduos sendo submetidos à avaliação com o método de referência, com amostras mais equilibradas entre sexos, diferentes faixas de IMC e tempo pós-cirurgia, bem como com equações específicas para cada população, são recomendados para aprimorar a precisão e a aplicabilidade clínica dessas ferramentas.

## REFERÊNCIAS

1. World Health Organization. Obesity and overweight. 2021.
2. Holmes CJ, Racette SB. The Utility of Body Composition Assessment in Nutrition and Clinical Practice: An Overview of Current Methodology. *Nutrients*. 2021 Jul 22;13(8):2493.
3. World Obesity Federation. World Obesity Atlas 2025. London; 2025.
4. Smith-Ryan AE, Blue MNM, Trexler ET, Hirsch KR. Utility of ultrasound for body fat assessment: validity and reliability compared to a multicompartiment criterion. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018 Mar 16;38(2):220–6.
5. Jia W. Obesity, metabolic syndrome and bariatric surgery: A narrative review. *J Diabetes Investig*. 2020 Mar 17;11(2):294–6.
6. Miclos-Balica M, Muntean P, Schick F, Haragus HG, Glisici B, Pupazan V, et al. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. *Eur J Clin Nutr*. 2021 Mar 11;75(3):438–45.
7. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, et al. Advanced Body Composition Assessment: From Body Mass Index to Body Composition Profiling. *Journal of Investigative Medicine*. 2018 Jun 1;66(5):1–9.
8. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research*. 2018 Nov;148(5):648–58.
9. Blue M, Tinsley G, Ryan E, Smith-Ryan A. Validity of Body-Composition Methods across Racial and Ethnic Populations. *Advances in Nutrition*. 2021 Sep;12(5):1854–62.
10. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente. Departamento de Análise Epidemiológica e Vigilância de Doenças Não Transmissíveis. *Vigitel Brasil 2023: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de fatores de risco e proteção para doenças crônicas nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal em 2023*. Brasília; 2023.
11. Kessler C. Pathophysiology of Obesity. *Nursing Clinics of North America*. 2021 Dec;56(4):465–78.
12. Carter J, Husain F, Papasavas P, Docimo S, Albaugh V, Aylward L, et al. American Society for Metabolic and Bariatric Surgery Review of Body Composition. *Surgery for Obesity and Related Diseases*. 2025 Apr;21(4):354–61.
13. Crewe C, An YA, Scherer PE. The ominous triad of adipose tissue dysfunction: inflammation, fibrosis, and impaired angiogenesis. *Journal of Clinical Investigation*. 2017 Jan 3;127(1):74–82.
14. Chandrasekaran P, Weiskirchen R. The signaling pathways in obesity-related complications. *J Cell Commun Signal*. 2024 Jun 7;18(2).
15. Rubino F, Cummings DE, Eckel RH, Cohen R V, Wilding JPH, Brown WA, et al. Definition and diagnostic criteria of clinical obesity. *Lancet Diabetes Endocrinol*. 2025 Mar;13(3):221–62.
16. Fosbøl MØ, Zerahn B. Contemporary methods of body composition measurement. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2015 Mar 15;35(2):81–97.
17. Ceniccola G, Castro M, Piovacari S, Horie L, Corrêa F, Barrere AP, et al. Current technologies in body composition assessment: advantages and disadvantages. *Nutrition*. 2019 Jun;62:25–31.
18. Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica (ABESO). *Diretrizes brasileiras de obesidade*. 4a ed. São Paulo: Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade e da Síndrome Metabólica (ABESO); 2016.
19. Messina C, Albano D, Gitto S, Tofanelli L, Bazzocchi A, Ulivieri FM, et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg*. 2020 Aug;10(8):1687–98.

20. Guglielmi G, Ponti F, Agostini M, Amadori M, Battista G, Bazzocchi A. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clin Exp Res*. 2016 Dec 2;28(6):1047–60.
21. Messina C, Albano D, Gitto S, Tofanelli L, Bazzocchi A, Ulivieri FM, et al. Body composition with dual energy X-ray absorptiometry: from basics to new tools. *Quant Imaging Med Surg*. 2020 Aug;10(8):1687–98.
22. Libber J, Binkley N, Krueger D. Clinical Observations in Total Body DXA: Technical Aspects of Positioning and Analysis. *Journal of Clinical Densitometry*. 2012 Jul;15(3):282–9.
23. Pateyjohns IR, Brinkworth GD, Buckley JD, Noakes M, Clifton PM. Comparison of Three Bioelectrical Impedance Methods with DXA in Overweight and Obese Men. *Obesity*. 2006 Nov 6;14(11):2064–70.
24. Sillanpää E, Häkkinen A, Häkkinen K. Body composition changes by DXA, BIA and skinfolds during exercise training in women. *Eur J Appl Physiol*. 2013 Sep 8;113(9):2331–41.
25. Wagner DR, Heyward VH, Gibson AL. Validation of air displacement plethysmography for assessing body composition. *Med Sci Sports Exerc*. 2000 Jul;32(7):1339–44.
26. Heden T, Shepard S, Smith J, Covington K, LeCheminant J. Resulting Shifts in Percentile and Standard Placements after Comparison of the BOD POD and DXA. *Int J Exerc Sci*. 2008;1(3):113–24.
27. Lowry DW, Tomiyama AJ. Air Displacement Plethysmography versus Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Underweight, Normal-Weight, and Overweight/Obese Individuals. *PLoS One*. 2015 Jan 21;10(1):e0115086.
28. Wingfield HL, Smith-Ryan AE, Woessner MN, Melvin MN, Fultz SN, Graff RM. Body composition assessment in overweight women: validation of air displacement plethysmography. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014 Jan 15;34(1):72–6.
29. Maddalozzo GF, Cardinal BJ, Snow CM. Concurrent Validity of the BOD POD and Dual Energy X-Ray Absorptiometry Techniques for Assessing Body Composition in Young Women. *J Am Diet Assoc*. 2002 Nov;102(11):1677–9.
30. Rumbo-Rodríguez L, Sánchez-SanSegundo M, Ferrer-Cascales R, García-D'Urso N, Hurtado-Sánchez JA, Zaragoza-Martí A. Comparison of Body Scanner and Manual Anthropometric Measurements of Body Shape: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jun 8;18(12):6213.
31. Su Y, Sun J yu, Su Z yang, Sun W. Revisiting Waist Circumference: A Hypertension Risk Factor that Requires a More In-depth Understanding. *Curr Cardiol Rev*. 2024 Jul;20(4).
32. Corrêa MM, Facchini LA, Thumé E, Oliveira ERA de, Tomasi E. The ability of waist-to-height ratio to identify health risk. *Rev Saude Publica*. 2019 Feb 7;53:66.
33. World Health Organization. Waist circumference and waist–hip ratio: report of a WHO expert consultation. Geneva; 2008.
34. Tewari A, Kumar G, Maheshwari A, Tewari V, Tewari J. Comparative Evaluation of Waist-to-Height Ratio and BMI in Predicting Adverse Cardiovascular Outcome in People With Diabetes: A Systematic Review. *Cureus*. 2023 May 9;
35. Viana A da S, de Oliveira Filho AP, de Brito AL, Alberto ÁAD, Belfort DR, Materko W. Comparação entre três protocolos por dobra cutânea para estimativa da gordura corporal relativa em homens e mulheres universitários. *Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*. 2018;12(76):1150–6.
36. Stewart A, Marfell-Jones M, De Rider JH. *International Standards for Anthropometric Assessment*. Wellington: The International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2012. 50–53 p.
37. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Orientações para a coleta e análise de dados antropométricos em serviços de saúde: Norma

- Técnica do Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional - SISVAN. Brasília; 2011.
38. Kasper AM, Langan-Evans C, Hudson JF, Brownlee TE, Harper LD, Naughton RJ, et al. Come Back Skinfolts, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*. 2021 Mar 25;13(4):1075.
39. Chambers AJ, Parise E, Mccrory JL, Cham R. A comparison of prediction equations for the estimation of body fat percentage in non-obese and obese older Caucasian adults in the United States. *J Nutr Health Aging*. 2014 Jun;18(6):586–90.
40. 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 overweight/obese adult patients with type-2 diabetes. *Sci Rep*. 2017 Dec 12;7(1):17424.
41. 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 Jun 5;64(3):257–68.
42. Silveira EA, Barbosa LS, Noll M, Pinheiro HA, de Oliveira C. Body fat percentage prediction in older adults: Agreement between anthropometric equations and DXA. *Clinical Nutrition*. 2021 Apr;40(4):2091–9.
43. Souza RGM de, Gomes AC, Prado CMM do, Mota JF. Métodos de análise da composição corporal em adultos obesos. *Revista de Nutrição*. 2014 Oct;27(5):569–83.
44. Bielemann RM, Gonzalez MC, Barbosa-Silva TG, Orlandi SP, Xavier MO, Bergmann RB, et al. Estimation of body fat in adults using a portable A-mode ultrasound. *Nutrition*. 2016 Apr;32(4):441–6.
45. Wagner DR. Ultrasound as a Tool to Assess Body Fat. *J Obes*. 2013;2013:1–9.
46. García-Almeida JM, García-García C, Vegas-Aguilar IM, Ballesteros Pomar MD, Cornejo-Pareja IM, Fernández Medina B, et al. Nutritional ultrasound®: Conceptualisation, technical considerations and standardisation. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición (English ed)*. 2023 Mar;70:74–84.
47. Ribeiro VA, Silva BR da, Jordão Júnior AA, Mialich MS. Ultrassom como ferramenta de avaliação da composição corporal. *Revista Brasileira de Nutricao Esportiva*. 2022;16(101):512–29.
48. BodyMetrix. Instruções de uso: Avaliação por Ultrassom. Vol. 1. BodyMetrix; 2017. p. 1–50.
49. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser*. 2000;894:i–xii, 1–253.
50. World Health Organization. World Health Organization. 2007. Growth reference data for 5–19 years.
51. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, et al. Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004 Dec;23(6):1430–53.
52. Kaminsky LA, Whaley MH. Differences in estimates of percent body fat using bioelectrical impedance. *J Sports Med Phys Fitness*. 1993 Jun;33(2):172–7.
53. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*. 1986 Apr 1;60(4):1327–32.
54. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*. 1978 Nov 9;40(3):497–504.
55. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(3):175–81.
56. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition*.

- 1993;9(5):480–91; discussion 480, 492.
57. Jackson AS, Pollock ML. Practical Assessment of Body Composition. *Phys Sportsmed*. 1985 May 11;13(5):76–90.
58. Rezende FAC, Rosado LEFPL, Priore SE, Franceschini S do CC. Aplicabilidade de equações na avaliação da composição corporal da população brasileira. *Revista de Nutrição*. 2006 Jun;19(3):357–67.
59. Silva SL. Variações anatômicas do tecido celular subcutâneo pós-perda ponderal. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (Impresso)*. 2010 Dec;25(4):675–8.
60. Skogar M, Holmbäck U, Hedberg J, Risérus U, Sundbom M. Preserved Fat-Free Mass after Gastric Bypass and Duodenal Switch. *Obes Surg*. 2017;27(7):1735–40.
61. Tacchino RM, Mancini A, Perrelli M, Bianchi A, Giampietro A, Milardi D, et al. Body composition and energy expenditure: Relationship and changes in obese subjects before and after biliopancreatic diversion. *Metabolism*. 2003 May;52(5):552–8.
62. Tangjitrong S, Udomsawaengsup S, Boonchaya-anant P. Comparison of Body Composition Variables between Post-Bariatric Surgery Patients and Non-Operative Controls. *Clin Med Insights Endocrinol Diabetes*. 2023 Oct 17;16.
63. Santini S, Vionnet N, Pasquier J, Suter M, Hans D, Gonzalez-Rodriguez E, et al. Long-term body composition improvement in post-menopausal women following bariatric surgery: a cross-sectional and case–control study. *Eur J Endocrinol*. 2021;186(2):255–63.
64. Strain G, Ebel F, Honohan J, Gagner M, Dakin G, Pomp A, et al. Fat-free mass is not lower 24 months postbariatric surgery than nonoperated matched controls. *Surgery for Obesity and Related Diseases*. 2017 Jan;13(1):65–9.
65. Andersson DP, Dahlman I, Eriksson Hogling D, Bäckdahl J, Toft E, Qvisth V, et al. Improved metabolism and body composition beyond normal levels following gastric bypass surgery: a longitudinal study. *J Intern Med*. 2019 Jan 25;285(1):92–101.
66. de Oliveira PAP, Montenegro ACP, Bezerra LRA, da Conceição Chaves de Lemos M, Bandeira F. Body Composition, Serum Sclerostin and Physical Function After Bariatric Surgery: Performance of Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis. *Obes Surg*. 2020 Aug;30(8):2957–62.
67. Cole AJ, Kuchnia AJ, Beckman LM, Jahansouz C, Mager JR, Sibley SD, et al. Long-Term Body Composition Changes in Women Following Roux-en-Y Gastric Bypass Surgery. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2017 May;41(4):583–91.
68. Rockamann RA, Dalton EK, Arabas JL, Jorn L, Mayhew JL. Validity of Arm-to-Arm BIA Devices Compared to DXA for Estimating %fat in College Men and Women. *Int J Exerc Sci*. 2017;10(7):977–88.
69. Tinsley GM. 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*. 2017 Jun;42:85–100.
70. Leahy S, O’Neill C, Sohun R, Jakeman P. A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis to measure total and segmental body composition in healthy young adults. *Eur J Appl Physiol*. 2012 Feb;112(2):589–95.
71. Achamrah N, Colange G, Delay J, Rimbert 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 Jul 12;13(7).
72. Faria SL, Faria OP, Cardeal MDA, Ito MK. Validation Study of Multi-Frequency Bioelectrical Impedance with Dual-Energy X-ray Absorptiometry Among Obese Patients. *Obes Surg*. 2014;24(9):1476–80.
73. Tan B, Philipp M, Hill S, Che Muhamed AM, Mündel T. Pain Across the Menstrual Cycle:

- Considerations of Hydration. *Front Physiol.* 2020 Oct 8;11.
74. White UA, Tchoukalova YD. Sex dimorphism and depot differences in adipose tissue function. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease.* 2014 Mar;1842(3):377–92.
75. Leahy S, Toomey C, McCreesh K, O'Neill C, Jakeman P. Ultrasound Measurement of Subcutaneous Adipose Tissue Thickness Accurately Predicts Total and Segmental Body Fat of Young Adults. *Ultrasound Med Biol.* 2012 Jan;38(1):28–34.
76. Forbes GB. *Human Body Composition.* New York, NY: Springer New York; 1987.
77. Ritz P, Vol S, Berrut G, Tack I, Arnaud MJ, Tichet J. Influence of gender and body composition on hydration and body water spaces. *Clinical Nutrition.* 2008 Oct;27(5):740–6.
78. Bondareva EA, Parfenteva OI, Troshina EA, Ershova E V., Mazurina N V., Komshilova KA, et al. Agreement between bioimpedance analysis and ultrasound scanning in body composition assessment. *American Journal of Human Biology.* 2024 Apr;36(4).
79. Rudnev S, Burns JS, Williams PL, Lee MM, Korrick SA, Denisova T, et al. Comparison of bioimpedance body composition in young adults in the Russian Children's Study. *Clin Nutr ESPEN.* 2020 Feb;35:153–61.
80. Rosenberg J, Natarajan J, Carpenter DJ, Peluso C, Hilton C, Champ CE. Agreement Between Bioelectrical Impedance Analysis and Ultrasound for Measuring Body Composition in Women with Breast Cancer. *Diagnostics.* 2025 Jun 17;15(12):1512–45.
81. Lee DH, Park K, Ahn S, Ku E, Jung K, Kim Y, et al. Comparison of Abdominal Visceral Adipose Tissue Area Measured by Computed Tomography with That Estimated by Bioelectrical Impedance Analysis Method in Korean Subjects. *Nutrients.* 2015 Dec 16;7(12):10513–24.
82. Dehghan M, Merchant AT. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutr J.* 2008 Sep 9;7(26).
83. Vansant G, Van Gaal L, De Leeuw I. Assessment of Body Composition by Skinfold Anthropometry and Bioelectrical Impedance Technique: A Comparative Study. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition.* 1994 Sep;18(5):427–9.
84. Arlindo de Sousa C, de Macedo B, Coutinho de Azevedo L, Damasceno NRT, Ittermann T, Völzke H, et al. Bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness for the estimation of body fat: a population-based study in southern Brazil. *Rev Assoc Med Bras.* 2025;71(1).
85. Both DR, Matheus SC, Behenck MS. Validação de equações antropométricas específicas e generalizadas para estimativa do percentual de gordura corporal em estudantes de Educação Física do sexo masculino. *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte.* 2015 Mar;29(1):13–23.
86. Hoffmann J, Thiele J, Kwast S, Borger MA, Schröter T, Falz R, et al. Measurement of subcutaneous fat tissue: reliability and comparison of caliper and ultrasound via systematic body mapping. *Sci Rep.* 2022 Sep 22;12(1).
87. Shriki J. *Ultrasound Physics.* *Crit Care Clin.* 2014;30(1):1–24.
88. Wagner DR, Cain DL, Clark NW. Validity and Reliability of A-Mode Ultrasound for Body Composition Assessment of NCAA Division I Athletes. *PLoS One.* 2016 Apr 13;11(4).
89. Ingle AS, Kashyap NK, Trivedi S, Chaudhary R, Suryavanshi G, Thangaraju P, et al. Assessment of Body Fat Percentage Using B-Mode Ultrasound Technique versus Skinfold Caliper in Obese Healthy Volunteers. *Cureus.* 2022 Mar 9;
90. Lewandowski Z, Dychała E, Pisula-Lewandowska A, Danel DP. Comparison of Skinfold Thickness Measured by Caliper and Ultrasound Scanner in Normative Weight Women. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Dec 4;19(23).
91. Olinto M, Lins VC, Rocha G, Dourado MA, Dutra M. Practical but Inaccurate? A-Mode Ultrasound and Bioelectrical Impedance Underestimate Body Fat Percentage Compared to Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Male College Students. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2024 Jun

28;9(3):113.

92. Demura S, Sato S, Kitabayashi T. Estimation accuracy of percent total body fat and percent segmental fat measured by single-frequency bioelectrical impedance analysis with 8 electrodes: the effect of difference in adiposity. *J Sports Med Phys Fitness*. 2005;45(1):68–76.

93. Neovius M, Hemmingsson E, Freyschuss B, Uddén J. Bioelectrical Impedance Underestimates Total and Truncal Fatness in Abdominally Obese Women. *Obesity*. 2006 Oct 6;14(10):1731–8.

94. Rothney MP, Brychta RJ, Schaefer E V., Chen KY, Skarulis MC. Body Composition Measured by Dual-energy X-ray Absorptiometry Half-body Scans in Obese Adults. *Obesity*. 2009;17(6):1281–6.

95. Silveira EA, Castro MCR, Rezende ATO, dos Santos Rodrigues AP, Delpino FM, Oliveira ES, et al. Body composition assessment in individuals with class II/III obesity: a narrative review. *BMC Nutr*. 2024 Oct 22;10(1):142.

96. LaForgia J, Dollman J, Dale MJ, Withers RT, Hill AM. Validation of DXA Body Composition Estimates in Obese Men and Women. *Obesity*. 2009 Apr;17(4):821–6.

97. Kang S, Park JH, Seo MW, Jung HC, Kim YI, Lee JM. Validity of the Portable Ultrasound BodyMetrix™ BX-2000 for Measuring Body Fat Percentage. *Sustainability*. 2020 Oct 22;12(21).

98. Johnson KE, Miller B, Juvancic-Heltzel JA, Agnor SE, Kiger DL, Kappler RM, et al. Agreement between ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry in assessing percentage body fat in college-aged adults. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014;34(6):493–6.

99. Ferreira LF, Silva EB da, Bomfim ABC. Validity and reliability of portable A-mode ultrasound in measuring body fat percentage: A systematic review with meta-analysis. *PLoS One*. 2024 Feb 8;19(2).

## ANEXO I

### Artigo original

# COMPARISON BETWEEN FAT PERCENTAGES OBTAINED THROUGH BODY COMPOSITION ASSESSMENT BY SKIN FOLDS, BIOIMPEDANCE, PORTABLE ULTRASOUND AND DXA IN EUTROPHIC, OVERWEIGHT AND OBESE INDIVIDUALS WHO HAVE OR HAVE NOT UNDERGONE BARIATRIC SURGERY

Luiza Castro Carvalho<sup>1</sup>, Jacqueline Isaura Alvarez-Leite<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Nutrition, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

<sup>2</sup>Department of Biochemistry and Immunology, Federal University of Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

### Abstract

**Introduction:** Body composition includes water, fat, proteins, and minerals, with fat being the most variable component. Although Body Mass Index (BMI) is widely used to assess nutritional status, it does not accurately reflect fat distribution, requiring more precise methods. **Objective:** To compare body fat percentage (%BF) obtained through Dual-Energy X-ray Absorptiometry (DXA), Bioelectrical Impedance Analysis (BIA), Portable Ultrasound (US), and Skinfold Thickness (SF). **Methods:** A total of 251 adults were evaluated (81.67% women, median age 47), including individuals with normal weight, overweight, and obesity, both with and without bariatric surgery. Participants were recruited from the Nutrition and Obesity Clinic at HC-UFGM and through social media, with a minimum age of 18 years. All underwent BIA and US assessments; SF was applied to 87 individuals with normal weight or overweight; DXA was performed on a subgroup of 24 participants. Jackson and Pollock equations (3, 4, and 7 skinfolds) and Siri's equation were used to calculate %BF. Statistical analysis included Intraclass Correlation Coefficient (ICC) to assess agreement between methods, and Pearson's correlation to evaluate linear relationships. A mixed-effects linear regression was used to compare bariatric and non-bariatric groups. **Results:** Mean %BF values were: BIA 36.26%, US 36.50%, SF (7 folds) 23.39%, and DXA 37.77%. Overall agreement between BIA, US, and SF was good to excellent (ICC 0.795–0.921), higher in men (ICC 0.752–0.901) than in women (ICC 0.546–0.783). In individuals with obesity, agreement between BIA and US was low (ICC 0.306–0.469), but good to excellent in normal weight and overweight groups. Compared to DXA, BIA and US

showed moderate to good agreement (BIA: ICC 0.548–0.708; US: ICC 0.635–0.776), while SF showed low agreement (ICC 0.302–0.464). No significant difference in %BF was found between bariatric and non-bariatric patients after adjusting for BMI, sex, and age. **Conclusion:** In conclusion, BIA and US showed satisfactory concordance, particularly in normal-weight and overweight individuals, representing feasible alternatives to DXA. However, US technical limitations in obese subjects and methodological differences from the reference standard require careful interpretation.

**Keywords:** body composition; bariatric surgery; bioelectrical impedance; ultrasound; skinfold thickness; DXA.

## Introduction

Obesity is a chronic condition characterized by excessive body fat accumulation and is currently recognized by the World Health Organization as a global epidemic (1). It negatively impacts health and longevity by increasing the risk of noncommunicable diseases and premature mortality (2). In 2020, the World Obesity Federation reported that 42% of adults worldwide were overweight or obese, equivalent to 2.2 billion individuals, and projections indicate that by 2030 this number will rise to 50%, including 1.1 billion individuals living with obesity (3).

The growing prevalence of obesity highlights the need for accurate body composition assessment, which provides a more comprehensive understanding of health status and aids in the detection of key nutritional conditions such as obesity, undernutrition, sarcopenia, and osteoporosis (2,4). Beyond diagnosis, precise measurements allow monitoring of body composition changes in response to interventions, ranging from lifestyle modifications and pharmacological therapy to bariatric surgery, the latter being considered a definitive treatment for obesity (4–6).

Although body mass index (BMI) is the most widely used indicator of nutritional status, it is limited by its inability to reflect the actual distribution of body fat (7). More advanced methods divide body mass into fat mass (FM) and fat-free mass (FFM), and can employ two-, three-, or four-compartment models to further refine estimates of water, protein, and bone mineral content (8,9). Over the past decades, several techniques have been developed—from direct cadaver analysis to indirect measures such as waist-to-hip ratio, imaging techniques, and bioelectrical impedance or densitometric methods, each with specific strengths and limitations (7).

Therefore, understanding and selecting the most appropriate body composition assessment methods is essential to guide individualized health interventions, particularly nutritional strategies (2).

## Methods

### *Study design and participants*

This was a cross-sectional study including patients followed by the Multidisciplinary Team of the Nutritional Therapy in Severe Obesity Outpatient Clinic (ETNNO) at the Hospital das Clínicas of the Federal University of Minas Gerais (HC-UFGM), as well as volunteers recruited through social media.

Inclusion criteria was age  $\geq 18$  years. Exclusion criteria comprised pregnancy or lactation;

renal, cardiac, or hepatic failure (due to changes in body hydration); amputation or presence of central (spinal) or bilateral metallic prostheses; pacemaker; use of anabolic steroids or medications affecting hydration status (e.g., diuretics, chemotherapy, corticosteroids); and inability to stand or remain in the supine position for data collection.

The study was approved by the Ethics Committee of the Federal University of Minas Gerais (CAAE: 85254724.1.0000.5149), and all participants provided written informed consent.

#### *Anthropometric assessment*

Data were collected between May 2024 and July 2025. Body weight and height were measured according to the Brazilian Food and Nutrition Surveillance System (SISVAN) protocol (37), using a calibrated digital anthropometric scale (Balmak®, capacity 300 kg, accuracy 0.1 kg) or a mechanical scale (Welmy®, capacity 150 kg, accuracy 0.1 kg) and a portable stadiometer (Sanny®). Body mass index (BMI) was calculated as weight (kg)/height<sup>2</sup> (m) and classified according to World Health Organization criteria for adults and adolescents (1,50).

#### *Body composition assessment*

Body composition was assessed using different methods depending on participants' BMI and availability:

Bioelectrical impedance analysis (BIA): Single-frequency (50 kHz) BIA (Biodynamics Model 450, Biodynamics, Shoreline, WA, USA) was performed following standard procedures (51). Participants were positioned in supine position, and four electrodes were placed on the right hand and foot as previously described (53).

Portable ultrasound (US): Measurements were obtained using a portable A-mode ultrasound device (BodyMetrix® BX2000, IntelaMetrix) connected to BodyView Professional Software®. Standardized sites were assessed: triceps, suprailiac, abdomen, and thigh in women; chest, abdomen, and thigh in men (36,48). Each site was measured twice by the same trained evaluator, with a third measurement if variation exceeded 10%. Body fat percentage (%BF) was calculated using Jackson and Pollock prediction equations incorporated in the software.

Skinfold thickness: For eutrophic and overweight volunteers, skinfolds were measured with a caliper (Cescorf®, accuracy 1 mm) at seven sites (chest, triceps, subscapular, mid-axillary, suprailiac, abdomen, thigh), according to the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) standards (36). Body density was estimated using Jackson and Pollock equations for men (7- and 3-site) [Eq. 1 e Eq. 2] and women (7- and 4-site) [Eq. 3 e Eq.

4], and %BF was derived using Siri's equation [Eq. 5] (54–57).

Equation 1: Body density for men 7-sites

$$\text{Body density} = 1,112 - (0,00043499 \times \sum 7\text{-sites}) + (0,00000055 (\sum 7\text{-sites})^2) - (0,00028826 \times \text{age})$$

Equation 2: Body density for men 3-site

$$\text{Body density} = 1,1093800 - (0,0008267 \sum 3\text{-sites}) + (0,0000016 (\sum 3\text{-sites})^2) - (0,0002574 \times \text{age})$$

Equation 3: Body density for women 7-sites

$$\text{Body density} = 1,097 - (0,00046971 \times \sum 7\text{-sites}) + (0,00000055 (\sum 7\text{-sites})^2) - (0,00012828 \times \text{age})$$

Equation 4: Body density for women 4-sites

$$\text{Body density} = 1,0960950 - 0,0006952 (\sum 4\text{-sites}) + 0,0000011 (\sum 4\text{-sites})^2 - (0,0000714 \times \text{age})$$

Equation 5: Body fat percentage

$$\%BF = (495 / \text{body density}) - 450$$

Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA): When available, participants underwent whole-body DXA within seven days of other assessments (Lunar Prodigy Primo, GE Healthcare).

### *Statistical analysis*

Analyses were performed using Stata version 14.2 (StataCorp, College Station, TX, USA). The sample was analyzed as a whole and stratified by sex, age group, BMI category, and bariatric surgery status. Continuous variables were tested for normality using the Shapiro–Wilk test. Parametric variables were expressed as mean  $\pm$  standard deviation, and nonparametric variables as median and interquartile range (P25–P75).

Comparisons between bariatric and non-bariatric participants were conducted using mixed-effects linear regression models adjusted for BMI, sex, and age, accounting for repeated measures. Results were presented as  $\beta$ -coefficients with 95% confidence intervals (95% CI). Statistical significance was set at  $p < 0.05$ .

Between-group comparisons were performed with Student's t-test, ANOVA, Mann–Whitney, or Kruskal–Wallis tests, as appropriate. Agreement between methods (BIA, US, skinfolds, DXA) was assessed using the Intraclass Correlation Coefficient (ICC), estimated with a two-way random-effects model and absolute agreement. ICC values were interpreted as

follows: <0.50 poor, 0.50–0.75 moderate, 0.75–0.90 good, and >0.90 excellent agreement.

## Results

A total of 251 participants were included in the study, of whom 81.7% were women, with a median age of 47 years (IQR 31–56) and a median BMI of 30.0 kg/m<sup>2</sup> (IQR 24.1–38.2). Overall, 29.1% were classified as normal weight, 20.3% as overweight, and 50.2% as obese. Regarding bariatric surgery, 48.6% had no indication, 12.7% were in the preoperative stage, and 38.6% had already undergone the procedure. All participants were assessed by BIA and US, 87 by skinfold thickness, and 24 by DXA. Mean %BF was 36.26% by BIA, 36.50% by US, 23.39% by skinfolds (Jackson & Pollock 7-site), and 37.77% by DXA (Table 1).

**Table 1. Characteristics of study participants (n=251)**

Variable	Value	n
Sex [%]		
Male	18.33	46
Female	81.67	205
Age [median (IQR), years]	47 (31–56)	251
Age group, %		
18–39 years	37.05	93
40–59 years	45.82	115
≥60 years	17.13	43
Weight [median (IQR), kg]	80.3 (65.6–103.0)	251
Height [median (IQR), m]	1.63 (1.57–1.70)	251
BMI [median (IQR), kg/m <sup>2</sup> ]	30.04 (24.06–38.19)	251
Nutritional status [%]		
Underweight	0.4	1
Normal weight	29.08	73
Overweight	20.32	51
Obesity class I	15.14	38
Obesity class II	11.95	30
Obesity class III	23.11	58
Bariatric surgery [status, %]		
No indication	48.61	122
Preoperative	12.75	32
Postoperative	38.65	97
Body fat percentage [mean ± SD or median (IQR)]		
BIA	36.26 ± 10.02	251
US	36.50 (30.40–41.00)	251
Skinfolds (3-site)*	16.63 ± 6.39	28
Skinfolds (4-site)*	26.48 ± 5.13	59
Skinfolds (7-site)*	23.39 ± 6.75	87
DXA	37.77 ± 5.85	24

*IQ* = Interquery Interval (P25–P75); *BIA* = bioelectrical impedance analysis; *DXA* = Dual-energy X-ray absorptiometry; *SD* = standard deviation; \*assessment performed only with eutrophic and overweight patients

Mixed-effects regression analysis, adjusted for BMI, sex, and age, showed no overall significant difference in %BF between bariatric and non-bariatric participants ( $\beta = -0.168$ ; 95% CI:  $-1.385$  to  $1.049$ ;  $p = 0.787$ ). When methods were analyzed individually, US detected significantly higher %BF in the bariatric group compared with the non-bariatric group ( $\beta = 2.53$ ; 95% CI:  $1.39$ – $3.67$ ;  $p < 0.001$ ), whereas BIA ( $p = 0.052$ ) and DXA ( $p = 0.634$ ) showed no differences.

Agreement between methods was generally good. The intraclass correlation coefficient (ICC) among BIA, US, and skinfolds indicated good individual agreement (ICC = 0.795) and excellent mean agreement (ICC = 0.921) (Table 2). Stratified analyses showed good-to-excellent agreement in men and younger participants, while in women agreement was moderate to good.

**Table 2. Agreement between BIA, US, and skinfold thickness for %BF estimation (n=87).**

Subgroup	ICC (95% CI), Individual	Interpretation	ICC (95% CI), Mean	Interpretation
Overall	0.795 (0.644–0.877)*	Good	0.921 (0.844–0.955)*	Excellent
Men (n=28)	0.752 (0.552–0.873)*	Good	0.901 (0.787–0.954)*	Excellent
Women (n=59)	0.546 (0.223–0.742)*	Moderate	0.783 (0.463–0.896)*	Good
Age 18–39 (n=65)	0.816 (0.676–0.894)*	Good	0.930 (0.862–0.962)*	Excellent
Age 40–59 (n=22)	0.549 (0.262–0.767)*	Moderate	0.785 (0.516–0.908)*	Good

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; \* $p < 0.001$

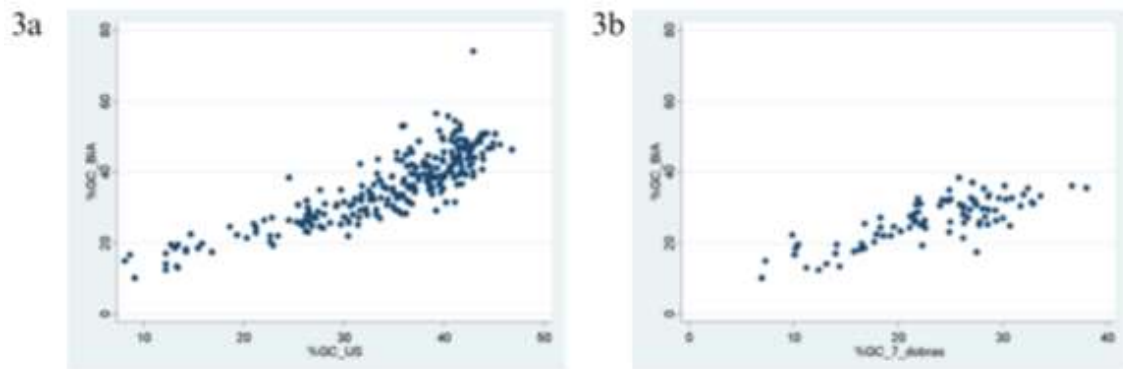
Pairwise comparisons and Pearson's correlation coefficient demonstrated excellent agreement between BIA and US (ICC mean = 0.905;  $r = 0.857$  ( $p < 0.001$ )) and moderate-to-good agreement between BIA and skinfolds (ICC mean = 0.828;  $r = 0.798$  ( $p < 0.001$ )) (Table 3, Figure 1).

**Table 3. Agreement between BIA and other methods for %BF estimation.**

Comparison	n	ICC (95% CI), Individual	Interpretation	ICC (95% CI), Mean	Interpretation
BIA vs. US	251	0.827 (0.753–0.876)*	Good	0.905 (0.859–0.934)*	Excellent
BIA vs. Skinfolds (7-site)	87	0.706 (0.302–0.857)*	Moderate	0.828 (0.464–0.923)*	Good

ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; BIA = bioelectrical impedance analysis; US = ultrasound; \* $p < 0.001$

**Figure 1. Correlation of %BF between bioimpedance and other methods**



(a) BIA vs ultrasound (b) BIA vs 7 skinfolds.

Stratification by BMI categories revealed excellent concordance between BIA and US in eutrophic individuals (ICC, Mean = 0,919; 0,872 – 0,949), good concordance in overweight (ICC, Mean = 0,893; 0,813-0,939), but poor agreement in obese participants (ICC, Mean = 0,469; 0,110-0,668) (Table 4).

**Table 4. Agreement between BIA and other methods for %BF, stratified by BMI categories.**

	Normal weight (n=73)		Overweight (n=51)		Obesity (n=126)	
	Individual	Mean	Individual	Mean	Individual	Mean
BIA vs. US	0,850	0,919	0,807	0,893	0,306	0,469
Interpretation	(0,772-0,903)*	(0,872-0,949)***	(0,685-0,885)*	(0,813-0,939)*	(0,059-0,502)*	(0,110-0,668)*
	Good	Excellent	Good	Good	Poor	Poor
	Normal weight (n=61)		Overweight (n=24)		Obesity (n=0)	
	Individual	Mean	Individual	Mean	Individual	Média
BIA vs. Skinfolds	0,693	0,819	0,680	0,809	-	-
Interpretation	(0,046-0,881)*	(0,089-0,937)*	(0,396-0,847)*	(0,567-0,917)*	-	-
	Moderate	Good	Moderate	Good	-	-

BIA = bioelectrical impedance analysis; US = ultrasound; ICC = intraclass correlation coefficient; CI = confidence interval; \* $p < 0.001$

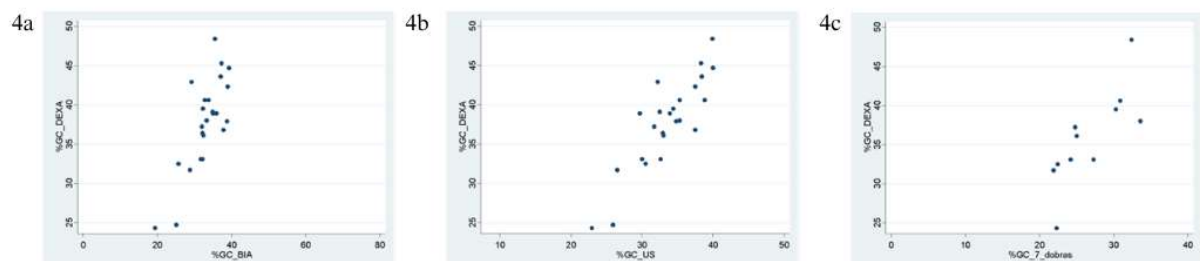
When comparing US with skinfold thickness, agreement varied by sex and equation. In men, using the Jackson & Pollock 3-site equation, agreement was good for individual measures (ICC = 0.893; 0,783-0,949) and excellent for mean values (ICC = 0.943; 0,878-0,974). In women, applying the 4-site equation, both individual and mean agreement were only moderate (ICC = 0.580; -0,492-0,827 and 0.734; -0,103-0,905, respectively). When the 7-site equation was considered for the overall sample, both individual and mean agreement were good (ICC = 0.810; 0,510-0,909 and 0.895; 0,676-0,953, respectively). Detailed results are provided in Supplementary Table 1. Stratification by BMI showed better concordance in eutrophic individuals, particularly in men, whereas correlations were weaker in women and those with overweight (Table 5).

**Table 5: Ultrasound versus skinfold thickness for men and women by BMI**

	Normal weight (n=17)		Overweight (n=11)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
US vs. 3-site for men	0,886 (0,671-0,959)	0,940 (0,803-0,979)	0,790 (0,404-0,938)	0,883 (0,575-0,968)
P value	<0,001	<0,001	0,001	0,001
Interpretation	Good	Excellent	Good	Good
	Normal weight (n=44)		Overweight (n=13)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
US vs. 4-site for women	0,445 (-0,092-0,749)	0,616 (-0,205-0,857)	0,209 (-0,137-0,605)	0,346 (-0,318-0,754)
P value	<0,001	<0,001	0,104	0,104
Interpretation	Poor	Moderate	Poor	Poor
	Normal weight (n=61)		Overweight (n=24)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
US vs. 7-site	0,807 (0,260-0,927)	0,893 (0,412-0,962)	0,771 (0,544-0,893)	0,871 (0,705-0,944)
P value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Interpretation	Good	Good	Moderate	Good

US = ultrasound

DXA was available for a subset (n=24). Agreement and with BIA and US was moderate-to-good (ICC mean = 0.708;  $-0.182-0.908$ ;  $r=0,778$ ,  $p<0,001$  and  $0.776$ ;  $-0.174-0.937$ ;  $r=0,872$ ,  $p<0,001$  respectively), whereas correlations with skinfolds were low (ICC mean = 0.464;  $-0.172-0.853$ ;  $r=0,785$ ,  $p=0,004$ ) (Supplementary Table 2, Figure 2).

**Figure 2. Correlation of %BF between DXA and other methods**

(a) DXA vs BIA (b) DXA vs ultrasound (c) DXA vs 7 skinfolds.

Stratified analysis by BMI showed good agreement only between DXA and US in overweight/obese individuals (ICC mean = 0.827;  $-0,166-0,962$ ), while concordance in eutrophic participants remained low (Table 6).

**Table 6. Agreement of DXA with BIA and ultrasound by BMI**

	Normal weight (n=12)		Excess weight (n=12)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
DXA vs. BIA	0,351 (-0,120-0,751)	0,520 (-0,272-0,858)	0,611 (-0,083-0,889)	0,758 (-0,180-0,941)
p value	0,012	0,012	0,001	0,001
Interpretation	Poor	Moderate	Moderate	Moderate
	Normal weight (n=12)		Excess weight (n=12)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
DXA vs. US	0,428 (-0,118-0,802)	0,599 (-0,269-0,890)	0,705 (-0,077-0,927)	0,827 (-0,166-0,962)
p value	0,005	0,005	<0,001	<0,001
Interpretation	Poor	Moderate	Moderate	Good
	Normal weight (n=7)		Excess weight (n=3)	
	Individual	Mean	Individual	Mean
DXA vs. Skinfolds	0,115 (-0,021-0,541)	0,206 (-0,043-0,702)	0,580 (-0,273-0,985)	0,734 (-0,751-0,992)
p value	0,016	0,016	0,152	0,152
Interpretation	Poor	Poor	Moderate	Moderate

*BIA = bioelectrical impedance analysis; DXA = Dual-energy X-ray absorptiometry;*

## Discussion

This study evaluated the agreement between BIA, US, skinfold thickness, and DXA in estimating body fat percentage (%BF) in adults with normal weight, overweight, and obesity, including 97 individuals who had undergone bariatric surgery. Accurate assessment of body composition is essential for clinical monitoring and for guiding health interventions, especially in individuals with obesity. Relying solely on BMI to assess obesity is questionable, as it neither identifies nor differentiates body components (2,7). The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) was used to measure the degree of agreement and consistency between measurements of the same variable, in this case %BF.

Overall, in individuals with normal weight and overweight, good individual agreement and excellent mean agreement were observed among field methods, with better %BF correspondence across methods in men.

When compared with the gold standard (DXA), agreement was lower, likely due to the small number of individuals included in the analyses and to methodological differences in %BF measurement between indirect and reference methods. The field methods applied in this study take into account hydration status, predictive equations, and the anatomical site of fat measurement, with results varying according to participant preparation, the device used, and the evaluator's level of expertise. DXA, in contrast, is much less sensitive to hydration status and evaluator influence.

Specific results will be discussed below.

#### *Bariatric vs. Non-Bariatric Individuals*

In the present study, no significant differences in %BF between methods were observed when comparing individuals who had undergone bariatric surgery with those who had not, after adjustment for BMI, sex, and age. According to mixed-effects regression analysis, BIA demonstrated the highest explanatory power ( $R^2 = 87.47\%$ ), suggesting that these parameters are strong predictors of %BF for this method. DXA, in contrast, showed the lowest explanatory power ( $R^2 = 66.49\%$ ), indicating that only about two-thirds of %BF variability was explained by the model, likely influenced by the small number of participants assessed by DXA. US presented an intermediate explanatory power ( $R^2 = 78.32\%$ ), with the model accounting for most of the variability but still leaving room for other non-included factors. Notably, US was the only method showing a statistically significant difference in %BF between groups, indicating that bariatric patients had, on average, 2.53 percentage points higher %BF than non-operated individuals, adjusted for BMI, sex, and age. It is important to consider that the US device used in this study had a 100 mm depth limitation for tissue measurement. In individuals with more pronounced subcutaneous fat accumulation, part of the tissue thickness may not have been captured, thus influencing %BF estimation. Additionally, post-bariatric patients often present reduced skin elasticity due to tissue rearrangement throughout its layers (59), which may impair the accurate identification of fat thickness by US. These limitations may explain the significant difference observed exclusively with this method, suggesting caution when interpreting these results in this subgroup.

Our findings suggest that when sex, age, and BMI are comparable, estimated %BF tends to be similar between groups, in agreement with Skogar et al. (60), who analyzed 27 post-bariatric individuals ( $\geq 2$  years after surgery) and 17 matched controls assessed by air displacement plethysmography, reporting no significant differences in FFM, FM, FFM/FM ratio, %FFM, or %FM between groups. Tacchino et al. (61) also reported comparable results. In their study with 101 women two years post-surgery matched to 53 controls by sex, age, and BMI, body composition assessed by DXA revealed no significant differences in FM between groups, although operated women had higher lean mass. Despite these similarities, our study did not standardize postoperative time, and different methods were applied. While Skogar et al. (60) and Tacchino et al. (61) relied on laboratory-based methods, which are more precise, our study included only one postoperative participant assessed by DXA and did not apply plethysmography, limiting direct comparison.

In contrast to our results, Tangjitrong et al. (62) investigated 60 individuals (30 post-

bariatric, one year after surgery, and 30 matched controls) and found significantly lower trunk fat, waist-to-hip ratio, and %BF in the surgical group, measured by InBody 770 bioimpedance. Operated patients also had significantly higher FFM, soft lean mass, skeletal muscle mass, and trunk lean mass, despite no significant differences in protein intake or physical activity. The discrepancies with our study may be explained by differences in postoperative time, sample size (97 post-bariatric individuals in our study), and BIA models. Our device (Biodynamics Model 450) operates with single frequency, whereas InBody 770 is multifrequency, allowing improved intracellular water estimation and, consequently, better lean mass assessment (2).

Similarly, Santini et al. (63) reported divergent results, showing significantly lower %BF, lower visceral fat, and higher %LM in 41 postmenopausal women at least two years post-surgery compared with age- and BMI-matched controls, using DXA. Strain et al. (64), evaluating 504 individuals by BIA (252 post-bariatric), and Andersson et al. (65), assessing 147 post-bariatric individuals and 69 controls by DXA, also found significantly lower %BF among operated patients. These studies reinforce that, in some populations, bariatric surgery can promote detectable changes in body composition even after adjustment for BMI and age.

Oliveira et al. (66) was the only study using more than one method, reporting a positive correlation between BIA and DXA for FM ( $r = 0.842$ ). However, controls were not matched by sex, age, and BMI, and a significant difference in %BF between groups was observed. It is also worth noting the scarcity of studies using US to compare body composition in post-bariatric individuals and matched controls, preventing direct comparison of our US-specific findings.

Taken together, the inconsistencies across studies may be attributed to the different methods used for body composition assessment, as devices vary in sensitivity for subcutaneous fat, visceral fat, and lean mass (2,8,45); to the heterogeneity in postoperative time, since body composition may change substantially at different stages after surgery (67); and to sample variability, particularly regarding size and control matching. Further cross-sectional and longitudinal studies with standardized postoperative timing and multiple assessment methods are required to clarify more precisely the changes in body composition following bariatric surgery.

#### *Influence of Sex and BMI*

In the present study, the best agreement in %BF estimates was observed among men and in the eutrophic group, with reduced concordance in individuals with obesity, particularly between BIA and US. These findings are consistent with prior evidence indicating better method agreement in men (68–71), likely due to sex-related differences in fat distribution. Women tend to accumulate fat in gluteofemoral regions and experience greater hydration fluctuations linked to hormonal variation, both of which can reduce method reliability (73,74). Despite the relatively

low proportion of male participants (18.33% of the sample), method performance was more stable in men, reinforcing the notion that their body composition distribution is less variable (75,76).

The lower concordance observed in individuals with higher BMI may be attributed to increased lean mass and reduced total body water, which can affect %BF accuracy, particularly for BIA, as hydration status is a critical determinant of its estimates (2,72,76). In obesity, the extracellular water compartment increases while intracellular water decreases, altering conductivity and thus BIA precision (77). Additionally, the 100 mm penetration limit of the US device may restrict accurate measurement in regions with substantial fat accumulation, such as the abdomen and thigh, further contributing to reduced agreement in individuals with obesity.

#### *BIA vs. US*

Overall, the best concordance was observed between BIA and US (n=251), with both individual (ICC = 0.827; 0.753–0.876) and average measures (ICC = 0.905; 0.859–0.934) showing good agreement, except among individuals with obesity, where concordance was notably reduced. This decline is likely related to hydration shifts, altered lean mass, and US measurement limitations in this group.

Bondareva et al. (78) also reported no significant differences between BIA and US in Russian women, although individual-level concordance was low and discrepancies increased with BMI. Conversely, Rosenberg et al. (80), in women with breast cancer, observed strong correlations between BIA and US, though BIA consistently overestimated %BF compared with US, except among normal-weight participants.

Discrepancies across studies may be explained by: (a) differences in BIA devices and frequencies, as multifrequency and higher-frequency models are more accurate in capturing intracellular water (2); (b) variability in average %BF across populations, influencing hydration status and BIA performance (77); (c) failure of US to detect ectopic fat deposits, which are captured by BIA (12,81); and (d) the lack of population-specific validation of predictive equations, which limits BIA precision, particularly in individuals with obesity (72,80,82).

#### *BIA vs. Skinfolds*

Agreement between BIA and skinfold thickness (n=87) was generally good (ICC = 0.828; 0.464–0.923), with similar trends across eutrophic and overweight groups. However, individual-level agreement was only moderate. Both methods are indirect and subject to specific limitations: skinfolds depend heavily on evaluator skill, adipose compressibility, and anatomical site selection (12,36,38), while BIA is strongly influenced by hydration status and fluid distribution (83).

Previous studies corroborate these findings. Kogure et al. (41) reported moderate concordance (Lin's CCC = 0.55) between BIA and skinfolds in women, while Arlindo et al. (84) observed systematic overestimation of %BF by skinfolds compared to BIA in Brazilian adults. Vansant et al. (83) also found strong correlations but systematic differences depending on BMI: skinfolds yielded higher %BF estimates in lean individuals, whereas BIA provided higher estimates in individuals with obesity.

These results highlight the importance of distinguishing statistical consistency (ICC) from absolute agreement (Lin's CCC). While both BIA and skinfolds capture variations in %BF, they may exhibit systematic biases depending on sex, BMI, and fat distribution. Thus, their comparability is population- and equation-dependent, underscoring the need for careful selection of validated prediction formulas (41).

#### *US vs. Skinfolds*

Agreement between US and skinfolds (n=87) was generally good, both at individual (ICC = 0.810; 0.510–0.909) and average levels (ICC = 0.895; 0.676–0.953). Stratified analyses revealed good agreement in eutrophic participants and moderate-to-good agreement in those with overweight. By sex, men showed excellent concordance, whereas women displayed only moderate agreement with wide confidence intervals, suggesting greater variability and reduced statistical precision in this subgroup.

These sex-based differences may reflect methodological and biological factors. Skinfold calipers may underestimate fat thickness compared to US, particularly in individuals with higher subcutaneous fat, since deeper layers are not captured (86). Given that women generally exhibit higher %BF and more heterogeneous fat distribution, this may partly explain the reduced agreement in female participants (74).

Supporting these findings, Wagner et al. (88) observed higher consistency among male athletes than females when comparing US, skinfolds, and air displacement plethysmography. Similarly, Lewandowski et al. (90) reported correlated but systematically different estimates between US and skinfolds, with skinfolds consistently yielding higher values due to tissue compression. Overall, while both methods assess subcutaneous fat, their differences in measurement principles (compression vs. imaging) prevent direct interchangeability.

#### *DXA*

In this study, DXA correlations with BIA (n=24) and US (n=24) were moderate at the individual level and good at the group level, whereas correlations with skinfolds (n=10) were poor, likely reflecting the limited sample size.

Evidence from the literature suggests that BIA frequently underestimates %BF compared

with DXA, particularly in women and in individuals with obesity (41,69–72,91). This underestimation is explained by the use of predictive equations derived from normal-weight populations, hydration variability, and device limitations. Several studies (69–72) consistently report that BIA overestimates lean mass while underestimating fat mass relative to DXA, with discrepancies widening as adiposity increases.

DXA itself, although widely considered a reference method, has limitations. Body thickness, particularly in the trunk, can affect measurement accuracy, with fat mass overestimation reported in individuals with tissue thickness >20 cm (96). Additionally, DXA assumes uniform tissue distribution, which may underestimate fat in individuals with central adiposity (9,95).

Agreement between DXA and US has been reported as moderate to good in some studies (91,97), though others found significant differences (98). A recent systematic review (99) concluded that portable A-mode US shows strong correlations with reference methods (DXA, air displacement plethysmography, hydrostatic weighing), with higher accuracy observed in men, larger samples, and when combined with anthropometric measures.

Taken together, these findings suggest that while DXA remains a key reference tool, both BIA and US show method- and population-dependent variability, particularly in women and individuals with obesity, where body composition heterogeneity undermines precision.

#### *Limitations and Contributions to the Literature*

This study has some limitations. The time elapsed since bariatric surgery was not standardized, and the reduced number of participants assessed by DXA may have limited subgroup analyses and influenced agreement estimates with this method. Additionally, the absence of standardized preparation protocols (e.g., fasting, avoidance of physical activity) in the laboratories performing DXA may also have affected the results (20). According to Blue et al., food intake prior to DXA can lead to increased lean mass estimates in the trunk and whole body, while physical activity may increase lean mass in the limbs and decrease it in the trunk (9).

The predominance of women in the sample may have influenced overall agreement estimates. The imbalance across BMI categories and the absence of analyses stratified by ethnicity/skin color may also limit the generalizability of the findings to other populations. Furthermore, indirect body composition methods rely on predictive equations, which may not have been validated for all subgroups and often perform less accurately in individuals with obesity or altered lean mass.

This study, however, has several strengths. First, the total sample size was relatively large (251 participants). We simultaneously assessed four methods of body composition estimation

(BIA, US, skinfold thickness, and DXA), enabling a comprehensive comparison of field techniques against the gold standard. The inclusion of individuals with diverse nutritional statuses, including bariatric surgery patients, allowed us to explore method performance across different clinical scenarios. Another strength was the detailed stratification by sex, age group, and BMI, which revealed important variations in agreement. Finally, the use of robust statistical approaches—including the intraclass correlation coefficient (ICC), linear mixed-effects regression, and Pearson's correlation—enhances the reliability of the findings.

Despite the limitations, these results contribute to advancing the understanding of the clinical applicability of methods alternative to DXA. The good agreement observed between BIA and ultrasound, particularly in normal-weight individuals, reinforces the potential of these techniques as feasible tools in clinical practice, provided that patient characteristics are carefully considered in the interpretation.

### **Conclusion**

This study compared the agreement between BIA, ultrasound, skinfold thickness, and DXA in estimating body fat percentage in adults with different nutritional statuses, including individuals who had undergone bariatric surgery. Overall, the agreement among field methods was good, particularly between BIA and ultrasound in normal-weight individuals, suggesting that these techniques may serve as feasible alternatives in clinical practice when access to the reference method is limited. However, agreement with DXA was lower, especially in individuals with obesity and in women, likely due to methodological differences, hydration effects, and limitations inherent to the predictive equations used.

Although no significant differences in body fat percentage were observed between bariatric and non-bariatric individuals after adjustment for BMI, sex, and age, the variability of results reported in the literature underscores the importance of considering postoperative time, assessment method, and sample characteristics when interpreting findings.

These results indicate that, while indirect methods may provide reasonable estimates at the population level, their application at the individual level requires caution and contextualized interpretation. Future studies with larger samples assessed by the reference method, more balanced distributions of sex, BMI categories, and postoperative time, as well as the development of population-specific equations, are recommended to improve the accuracy and clinical applicability of these tools.

### **References**

1. World Health Organization. Obesity and overweight. 2021.
2. Holmes CJ, Racette SB. The Utility of Body Composition Assessment in Nutrition and

- Clinical Practice: An Overview of Current Methodology. *Nutrients*. 2021 Jul 22;13(8):2493.
3. World Obesity Federation. *World Obesity Atlas 2025*. London; 2025.
  4. Smith-Ryan AE, Blue MNM, Trexler ET, Hirsch KR. Utility of ultrasound for body fat assessment: validity and reliability compared to a multicompartiment criterion. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2018 Mar 16;38(2):220–6.
  5. Jia W. Obesity, metabolic syndrome and bariatric surgery: A narrative review. *J Diabetes Investig*. 2020 Mar 17;11(2):294–6.
  6. Miclos-Balica M, Muntean P, Schick F, Haragus HG, Glisici B, Pupazan V, et al. Reliability of body composition assessment using A-mode ultrasound in a heterogeneous sample. *Eur J Clin Nutr*. 2021 Mar 11;75(3):438–45.
  7. Borga M, West J, Bell JD, Harvey NC, Romu T, Heymsfield SB, et al. Advanced Body Composition Assessment: From Body Mass Index to Body Composition Profiling. *Journal of Investigative Medicine*. 2018 Jun 1;66(5):1–9.
  8. Kuriyan R. Body composition techniques. *Indian Journal of Medical Research*. 2018 Nov;148(5):648–58.
  9. Blue M, Tinsley G, Ryan E, Smith-Ryan A. Validity of Body-Composition Methods across Racial and Ethnic Populations. *Advances in Nutrition*. 2021 Sep;12(5):1854–62.
  10. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. Orientações para a coleta e análise de dados antropométricos em serviços de saúde: Norma Técnica do Sistema de Vigilância Alimentar e Nutricional - SISVAN. Brasília; 2011.
  11. World Health Organization. World Health Organization. 2007. Growth reference data for 5–19 years.
  12. Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Manuel Gómez J, et al. Bioelectrical impedance analysis—part II: utilization in clinical practice. *Clinical Nutrition*. 2004 Dec;23(6):1430–53.
  13. Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*. 1986 Apr 1;60(4):1327–32.
  14. Stewart A, Marfell-Jones M, De Rider JH. *International Standards for Anthropometric Assessment*. Wellington: The International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2012. 50–53 p.
  15. BodyMetrix. Instruções de uso: Avaliação por Ultrassom. Vol. 1. BodyMetrix; 2017. p. 1–50.
  16. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition*. 1978 Nov 9;40(3):497–504.
  17. Jackson AS, Pollock ML. Practical Assessment of Body Composition. *Phys Sportsmed*. 1985 May 11;13(5):76–90.
  18. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(3):175–81.
  19. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. 1961. *Nutrition*. 1993;9(5):480–91; discussion 480, 492.
  20. Silva SL. Variações anatômicas do tecido celular subcutâneo pós-perda ponderal. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (Impresso)*. 2010 Dec;25(4):675–8.
  21. Skogar M, Holmbäck U, Hedberg J, Risérus U, Sundbom M. Preserved Fat-Free Mass after Gastric Bypass and Duodenal Switch. *Obes Surg*. 2017;27(7):1735–40.
  22. Tacchino RM, Mancini A, Perrelli M, Bianchi A, Giampietro A, Milardi D, et al. Body composition and energy expenditure: Relationship and changes in obese subjects before and after biliopancreatic diversion. *Metabolism*. 2003 May;52(5):552–8.
  23. Tangjitrong S, Udomsawaengsup S, Boonchaya-anant P. Comparison of Body Composition Variables between Post-Bariatric Surgery Patients and Non-Operative Controls.

Clin Med Insights Endocrinol Diabetes. 2023 Oct 17;16.

24. Santini S, Vionnet N, Pasquier J, Suter M, Hans D, Gonzalez-Rodriguez E, et al. Long-term body composition improvement in post-menopausal women following bariatric surgery: a cross-sectional and case-control study. *Eur J Endocrinol*. 2021;186(2):255–63.
25. Strain G, Ebel F, Honohan J, Gagner M, Dakin G, Pomp A, et al. Fat-free mass is not lower 24 months postbariatric surgery than nonoperated matched controls. *Surgery for Obesity and Related Diseases*. 2017 Jan;13(1):65–9.
26. Andersson DP, Dahlman I, Eriksson Hogling D, Bäckdahl J, Toft E, Qvisth V, et al. Improved metabolism and body composition beyond normal levels following gastric bypass surgery: a longitudinal study. *J Intern Med*. 2019 Jan 25;285(1):92–101.
27. de Oliveira PAP, Montenegro ACP, Bezerra LRA, da Conceição Chaves de Lemos M, Bandeira F. Body Composition, Serum Sclerostin and Physical Function After Bariatric Surgery: Performance of Dual-Energy X-ray Absorptiometry and Multifrequency Bioelectrical Impedance Analysis. *Obes Surg*. 2020 Aug;30(8):2957–62.
28. Wagner DR. Ultrasound as a Tool to Assess Body Fat. *J Obes*. 2013;2013:1–9.
29. Cole AJ, Kuchnia AJ, Beckman LM, Jahansouz C, Mager JR, Sibley SD, et al. Long-Term Body Composition Changes in Women Following Roux-en-Y Gastric Bypass Surgery. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2017 May;41(4):583–91.
30. Rockamann RA, Dalton EK, Arabas JL, Jorn L, Mayhew JL. Validity of Arm-to-Arm BIA Devices Compared to DXA for Estimating %fat in College Men and Women. *Int J Exerc Sci*. 2017;10(7):977–88.
31. Tinsley GM. 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*. 2017 Jun;42:85–100.
32. Leahy S, O'Neill C, Sohun R, Jakeman P. A comparison of dual energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis to measure total and segmental body composition in healthy young adults. *Eur J Appl Physiol*. 2012 Feb;112(2):589–95.
33. Achamrah N, Colange G, Delay J, Rimbert 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 Jul 12;13(7).
34. Tan B, Philipp M, Hill S, Che Muhamed AM, Mündel T. Pain Across the Menstrual Cycle: Considerations of Hydration. *Front Physiol*. 2020 Oct 8;11.
35. White UA, Tchoukalova YD. Sex dimorphism and depot differences in adipose tissue function. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*. 2014 Mar;1842(3):377–92.
36. Leahy S, Toomey C, McCreesh K, O'Neill C, Jakeman P. Ultrasound Measurement of Subcutaneous Adipose Tissue Thickness Accurately Predicts Total and Segmental Body Fat of Young Adults. *Ultrasound Med Biol*. 2012 Jan;38(1):28–34.
37. Forbes GB. *Human Body Composition*. New York, NY: Springer New York; 1987.
38. Faria SL, Faria OP, Cardeal MDA, Ito MK. Validation Study of Multi-Frequency Bioelectrical Impedance with Dual-Energy X-ray Absorptiometry Among Obese Patients. *Obes Surg*. 2014;24(9):1476–80.
39. Ritz P, Vol S, Berrut G, Tack I, Arnaud MJ, Tichet J. Influence of gender and body composition on hydration and body water spaces. *Clinical Nutrition*. 2008 Oct;27(5):740–6.
40. Bondareva EA, Parfenteva OI, Troshina EA, Ershova E V., Mazurina N V., Komshilova KA, et al. Agreement between bioimpedance analysis and ultrasound scanning in body composition assessment. *American Journal of Human Biology*. 2024 Apr;36(4).
41. Rosenberg J, Natarajan J, Carpenter DJ, Peluso C, Hilton C, Champ CE. Agreement Between Bioelectrical Impedance Analysis and Ultrasound for Measuring Body Composition in Women with Breast Cancer. *Diagnostics*. 2025 Jun 17;15(12):1512–45.

42. Lee DH, Park K, Ahn S, Ku E, Jung K, Kim Y, et al. Comparison of Abdominal Visceral Adipose Tissue Area Measured by Computed Tomography with That Estimated by Bioelectrical Impedance Analysis Method in Korean Subjects. *Nutrients*. 2015 Dec 16;7(12):10513–24.
43. Carter J, Husain F, Pappas P, Docimo S, Albaugh V, Aylward L, et al. American Society for Metabolic and Bariatric Surgery Review of Body Composition. *Surgery for Obesity and Related Diseases*. 2025 Apr;21(4):354–61.
44. Dehghan M, Merchant AT. Is bioelectrical impedance accurate for use in large epidemiological studies? *Nutr J*. 2008 Sep 9;7(26).
45. Kasper AM, Langan-Evans C, Hudson JF, Brownlee TE, Harper LD, Naughton RJ, et al. Come Back Skinfolts, All Is Forgiven: A Narrative Review of the Efficacy of Common Body Composition Methods in Applied Sports Practice. *Nutrients*. 2021 Mar 25;13(4):1075.
46. Vansant G, Van Gaal L, De Leeuw I. Assessment of Body Composition by Skinfold Anthropometry and Bioelectrical Impedance Technique: A Comparative Study. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 1994 Sep;18(5):427–9.
47. 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 Jun 5;64(3):257–68.
48. Arlindo de Sousa C, de Macedo B, Coutinho de Azevedo L, Damasceno NRT, Ittermann T, Völzke H, et al. Bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness for the estimation of body fat: a population-based study in southern Brazil. *Rev Assoc Med Bras*. 2025;71(1).
49. Hoffmann J, Thiele J, Kwast S, Borger MA, Schröter T, Falz R, et al. Measurement of subcutaneous fat tissue: reliability and comparison of caliper and ultrasound via systematic body mapping. *Sci Rep*. 2022 Sep 22;12(1).
50. Wagner DR, Cain DL, Clark NW. Validity and Reliability of A-Mode Ultrasound for Body Composition Assessment of NCAA Division I Athletes. *PLoS One*. 2016 Apr 13;11(4).
51. Lewandowski Z, Dychała E, Pisula-Lewandowska A, Danel DP. Comparison of Skinfold Thickness Measured by Caliper and Ultrasound Scanner in Normative Weight Women. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Dec 4;19(23).
52. Olinto M, Lins VC, Rocha G, Dourado MA, Dutra M. Practical but Inaccurate? A-Mode Ultrasound and Bioelectrical Impedance Underestimate Body Fat Percentage Compared to Dual-Energy X-ray Absorptiometry in Male College Students. *J Funct Morphol Kinesiol*. 2024 Jun 28;9(3):113.
53. LaForgia J, Dollman J, Dale MJ, Withers RT, Hill AM. Validation of DXA Body Composition Estimates in Obese Men and Women. *Obesity*. 2009 Apr;17(4):821–6.
54. Silveira EA, Castro MCR, Rezende ATO, dos Santos Rodrigues AP, Delpino FM, Oliveira ES, et al. Body composition assessment in individuals with class II/III obesity: a narrative review. *BMC Nutr*. 2024 Oct 22;10(1):142.
55. Kang S, Park JH, Seo MW, Jung HC, Kim YI, Lee JM. Validity of the Portable Ultrasound BodyMetrix™ BX-2000 for Measuring Body Fat Percentage. *Sustainability*. 2020 Oct 22;12(21).
56. Johnson KE, Miller B, Juvancic-Heltzel JA, Agnor SE, Kiger DL, Kappler RM, et al. Agreement between ultrasound and dual-energy X-ray absorptiometry in assessing percentage body fat in college-aged adults. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2014;34(6):493–6.
57. Ferreira LF, Silva EB da, Bomfim ABC. Validity and reliability of portable A-mode ultrasound in measuring body fat percentage: A systematic review with meta-analysis. *PLoS One*. 2024 Feb 8;19(2).
58. Guglielmi G, Ponti F, Agostini M, Amadori M, Battista G, Bazzocchi A. The role of DXA in sarcopenia. *Aging Clin Exp Res*. 2016 Dec 2;28(6):1047–60.

**Supplementary Table 1. Ultrasound versus skinfold thickness for men and women**

<b>General (n=28)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
US vs. 3-site for men	0,893 (0,783-0,949)***	0,943 (0,878-0,974)***
Interpretation	Good	Excellent
<b>General (n=59)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
US vs. 4-site for women	0,580 (-0,492-0,827)***	0,734 (-0,103-0,905)***
Interpretation	Moderate	Moderate
<b>General (n=87)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
US vs. 7-site	0,810 (0,510-0,909)***	0,895 (0,676-0,953)***
Interpretation	Good	Good

\*\*\*p&lt;0,001

**Supplementary Table 2. Agreement of DXA with BIA and ultrasound**

<b>General (n=24)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
DXA vs. BIA	0,548 (-0,083-0,832)**	0,708 (-0,182-0,908)**
Interpretation	Moderate	Good
<b>General (n=24)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
DXA vs. US	0,635 (-0,080-0,881)**	0,776 (-0,174-0,937)**
Interpretation	Moderate	Good
<b>General (n=10)</b>		
	<b>Individual</b>	<b>Mean</b>
DXA vs. Skinfolds	0,302 (-0,079-0,743)*	0,464 (-0,172-0,853)*
Interpretation	Poor	Poor

## ANEXO II

### Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa intitulada “*Acompanhamento de indivíduos eutróficos e/ou acima do peso, submetidos ou não à cirurgia bariátrica, quanto às suas características antropométricas, nutricionais e metabólicas e avaliação do sucesso dos tratamentos implantados em serviços de atendimento nutrológico e nutricional do hospital das clínicas da UFMG*”. O propósito do estudo é investigar algumas características físicas, metabólicas, genéticas e o comportamento alimentar de indivíduos dentro de todas as faixas de IMC. Isso poderá ajudar a prevenir o insucesso dos tratamentos ou recidivas da obesidade.

No dia em que você tiver sua consulta no ambulatório de nutrição ou for recrutado, você fará alguns testes que não serão invasivos. Serão: 1) a calorimetria indireta, que você terá que ficar deitado(a) por 10 minutos com uma máscara bucal para medida do seu gasto energético; 2) exame de ultrassom, em que, após passar uma pequena camada de gel em pontos específicos da sua barriga, braços e pernas, o aparelho fará a medida da sua gordura e do seu músculo, sem causar nenhuma dor; 3) bioimpedância elétrica, que consiste em um aparelho que mede as quantidades de massa magra, gordura e água corporais por meio de uma corrente elétrica de baixa intensidade, sem causar nenhum desconforto; 4) teste de força da mão, que se caracteriza por apertar um aparelho chamado dinamômetro; 5) teste sentar-levantar onde vamos pedir que você sente e levante de uma cadeira por 30 segundos; e, por fim, 6) com uma haste de algodão vamos massagear a parte interna da sua bochecha para coletar material para fazer testes de genotipagem. Todos estes testes não causam dor nem grande incômodo e levarão cerca de 45min para serem concluídos. Além disso, acessaremos seus dados de prontuário do Hospital das Clínicas e também seus exames laboratoriais já feitos no laboratório central da UFMG. De acordo com seu perfil, todos ou apenas alguns testes poderão ser executados.

Além desses testes, serão aplicados questionários com perguntas sobre sua alimentação, sua rotina de atividade física, hábitos, habilidades físicas e seus sentimentos frente à comida.

A realização do teste de bioimpedância elétrica é contra-indicado no caso de gestação e em pessoas portadoras de marcapasso, pois pode interferir com seu funcionamento. Assim, gestantes ou indivíduos portadores de marca-passo não deverão participar.

De acordo com a Resolução 466/2012 ou a lei 14.874/2012:

Todas as informações colhidas e os resultados dos testes serão analisados em caráter estritamente científico, garantido assim o **sigilo**, porém os resultados da pesquisa serão utilizados em trabalhos científicos publicados ou apresentados oralmente em congressos e palestras sem revelar sua identidade. Seu nome não aparecerá em nenhum momento da apresentação dos resultados.

Sua participação neste estudo é **totalmente voluntária**, ou seja, você somente participa se quiser. O(A) Sr(a) não receberá remuneração por sua participação e não terá gastos adicionais por participar da pesquisa.

Ao ser submetido(a) aos testes e ao responder o questionário, você poderá se sentir desconfortável com o toque dos profissionais, por ter que revelar as partes do corpo para medições (no caso, barriga, pernas e braços), além de que algumas questões podem lhe trazer lembranças ruins. Se isso acontecer, o sr.(a). poderá pausar o procedimento ou preenchimento, não responder à questão ou desistir da participação, sem qualquer penalidade. Portanto, você poderá, a qualquer momento, retirar o seu consentimento de participação, sem que isso implique em perda de direitos pré-existentes ou prejuízo no relacionamento profissional, pessoal e no tratamento de sua doença.

Responderemos a quaisquer perguntas ou esclarecimentos que você tenha ou possa ter quanto aos objetivos, procedimentos, riscos, benefícios e outros assuntos relacionados com a pesquisa. Para mais esclarecimentos, por favor, entre em contato com Dra. Jacqueline Alvarez Leite (pesquisador responsável) pelo telefone (31) 3409-2652 ou pelo email jalvarezleite@yahoo.com.br; Isabela Sampaio Sardinha Pinto Vasconcellos (mestranda) pelo telefone (31)99207-9027 ou email belassp@gmail.com; Leandra Passarelli Castro e Souza (mestranda) pelo telefone (12)997203549 ou pelo email ou com Luíza Castro Carvalho (mestranda) pelo telefone (31)993976002 ou pelo email luizacastronutricionista@gmail.com.

Caso tenha dúvidas sobre o aspecto ético ou o andamento da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em pesquisa da UFMG que a aprovou no endereço: Avenida Antônio Carlos, nº6627, Unidade administrativa II, 2º andar, sala 2005, Campus Pampulha, Belo Horizonte/MG, telefone (31) 34094592.

**Eu li e entendi o texto acima, como também a forma como me foi descrito o estudo pelo pesquisador responsável. Este documento possui duas vias, que serão assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.**

Eu, \_\_\_\_\_, portador do RG nº \_\_\_\_\_ concordo em participar do estudo descrito acima.

\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_\_  
Assinatura do participante Data

Eu, por meio deste, confirmo que o paciente deu seu livre consentimento em participar do estudo.

\_\_\_\_\_ / / \_\_\_\_\_  
Assinatura do pesquisador responsável/Aluno Data