

## PROTOSCOLOS CLÍNICOS PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CORPORAL:

Bioimpedância Elétrica e Antropometria

Mediante análise da composição corporal torna-se possível identificar os principais componentes estruturais do corpo humano, em particular as frações do peso corporal equivalentes à massa de gordura, à massa magra e à massa isenta de gordura, utilizadas como importantes marcadores no diagnóstico de doenças e nas intervenções dietéticas e de prática de exercício físico. Devido a isto, observa-se crescente interesse pelo monitoramento da composição corporal, o que tem favorecido o desenvolvimento de novos procedimentos que possam oferecer maior confiabilidade as estimativas de seus componentes. No entanto, as medidas disponibilizadas pelos diferentes procedimentos para análise da composição corporal apresentam variações dependendo dos pressupostos biofísicos que as norteiam e das exigências de condição de uso. Neste contexto, torna-se importante conhecer as limitações e as potencialidades de cada procedimento para que suas estimativas possam ser interpretadas corretamente. Esta publicação foi idealizada com vistas a reunir informações sobre os protocolos clínicos utilizados para análise da composição corporal, especificamente procedimentos identificados com os métodos de bioimpedância elétrica e antropometria. O conteúdo do material está organizado em seis capítulos: histórico e evolução conceitual da composição corporal, modelos de análise, procedimentos de análise da composição corporal, técnica de bioimpedância, técnica antropométrica e uso dos procedimentos clínicos em situações específicas. Espera-se que a presente publicação técnica possa oferecer importantes subsídios para profissionais de diferentes segmentos da área de saúde, contribuindo de forma significativa para ampliação de novos conhecimentos vinculados à avaliação morfofuncional, tornando-se, por sua vez, importante ferramenta de consulta para atuação profissional.



# PROTOSCOLOS CLÍNICOS PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CORPORAL:

## Bioimpedância Elétrica e Antropometria

Dartagnan Pinto Guedes  
Jean Carlos Calabrese

## AUTORES



**Dartagnan  
Pinto Guedes**

Graduado em Educação Física pela Universidade Estadual de Londrina, Paraná;

Doutorado em Educação Física pela Universidade de São Paulo, São Paulo;

Pós-doutorado em Condição Física e Saúde pela Universidade Técnica de Lisboa, Portugal;

Professor-Associado aposentado do Centro de Educação Física e Esporte da Universidade Estadual de Londrina, Paraná;

Professor-Titular do Centro de Pesquisa em Ciências da Saúde da Universidade Norte do Paraná



**Jean Carlos  
Calabrese**

Graduado em Educação Física pelo Centro Universitário Campos de Andrade, Curitiba, Paraná;

Pós Graduação em Nutrição Esportiva pela Universidade Gama Filho, Rio de Janeiro;

Mestre em Exercício Físico na Promoção da Saúde pela Universidade Norte do Paraná, Londrina, Paraná;

Policial Militar do Estado do Paraná, Seção de Educação Física para o Batalhão de Operações Especiais;

Coordenado da PersonaFit Academia, Curitiba, Paraná.

# PROTÓCOLOS CLÍNICOS PARA ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CORPORAL:

## Bioimpedância Elétrica e Antropometria

**Dartagnan Pinto Guedes  
Jean Carlos Calabrese**

Copyright © 2019 Editora UNOPAR  
Capa, Projeto Gráfico e Editoração Eletrônica: Rodolfo GAION

Dados Internacionais de catalogação na publicação (CIP)  
Universidade Pitágoras Unopar  
Biblioteca CCBS/CCECA PIZA  
Setor de Tratamento da Informação

C141p Guedes, Dartagnan Pinto  
Protocolos clínicos para análise da composição corporal:  
bioimpedância elétrica e antropometria. / Dartagnan Pinto  
Guedes, Jean Carlos Calabrese. Londrina, Paraná: Editora  
UNOPAR, 2019.  
144 f.

Bibliografia  
ISBN 978-85-71840-04-1

1- Avaliação morfofuncional. 2- Composição corporal. 3- Massa  
de gordura. 4- Massa magra. 5- Massa isenta de gordura.  
6- Técnica de bioimpedância. 7- Técnica antropométrica.  
I- Guedes, Dartagnan Pinto; Jean Carlos Calabrese. II-  
Universidade Pitágoras Unopar.

CDD 612

Andressa Fernanda Matos Bonfim - CRB 9/1643

Todos os direitos reservados.  
Nenhuma parte deste livro poderá ser reproduzida,  
por qualquer processo, sem a permissão expressa dos editores.  
1ª edição brasileira - 2019

UNOPAR  
EDITORA

Rua Marselha 591 - Jardim Piza  
CEP 86.041-120 - Londrina - Paraná  
Fone 43 3371.7931 | www.pgsskroton.com.br

# SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	<b>07</b>
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>Histórico e evolução conceitual da composição corporal</b>	<b>11</b>
Fase Inicial dos Estudos de Composição Corporal	14
<i>Estudos em cadáveres</i>	15
<i>Métodos in vivo</i>	17
<i>Foco nas alterações dos constituintes</i>	19
<i>Outros avanços importantes observados nesta fase</i>	20
Fase Recente dos Estudos de Composição Corporal	22
Fase Contemporânea dos Estudos de Composição Corporal	28
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>Modelos de análise</b>	<b>35</b>
Níveis de organização de análise da composição corporal	37
<i>Nível atômico</i>	38
<i>Nível molecular</i>	39
<i>Nível celular</i>	39
<i>Nível tecidual dos sistemas</i>	40
<i>Nível corpo inteiro</i>	40



Mediante análise da composição corporal torna-se possível identificar os principais componentes estruturais do corpo humano, em particular as frações do peso corporal equivalentes à massa de gordura, à massa magra e à massa isenta de gordura, utilizadas como importantes marcadores no diagnóstico de doenças e nas intervenções dietéticas e de exercício físico. Por essa razão, observa-se crescente interesse de profissionais da área de saúde pelo monitoramento da composição corporal, o que tem favorecido o desenvolvimento de novas técnicas capazes de oferecer maior validade às estimativas de seus componentes.

No entanto, os resultados encontrados pelas diferentes técnicas disponíveis para análise da composição corporal apresentam variações dependendo dos pressupostos biofísicos, que as norteiam, e das exigências da condição de uso. Nesse contexto, é importante conhecer as limitações e as potencialidades de cada técnica e os critérios de confiabilidade para que suas estimativas possam ser interpretadas corretamente.

As técnicas laboratoriais, incluindo a absorptometria radiológica de dupla energia, a tomografia computadorizada, a ressonância magnética, a pesagem hidrostática e a pletismografia, entre outras, oferecem estimativas muito precisas, tornando-se, portanto, a primeira opção para reunir informações sobre a composição corporal. Contudo, muitas vezes, em razão do alto custo de seus equipamentos, da exigência de instalações complexas, da sofisticação metodológica, da solicitação de técnico especificamente qualificado para aplicação de seus procedimentos e da dificuldade em envolver as pessoas nos protocolos de medida, o seu uso em ambiente clínico tem sido limitado.

Assim, a simplicidade e inocuidade de seus procedimentos, a portabilidade dos equipamentos empregados e a relativa facilidade de interpretação dos dados elegeram a bioimpedância elétrica e a antropometria como as

técnicas de maior aplicabilidade e encorajam quantidade cada vez maior de profissionais a recorrer ao seu uso. Vários estudos de validade foram conduzidos com os procedimentos de bioimpedância elétrica e antropometria sendo encontradas boas correlações com as técnicas de referência.

A técnica de bioimpedância elétrica foi originalmente descrita na década de 1960; porém, somente a partir de 1980 é que passou a ser amplamente difundida. Seus procedimentos baseiam-se nos diferentes níveis de condutibilidade elétrica dos tecidos biológicos expostos a uma corrente elétrica. Com dados a respeito de impedância, função dependente tanto da resistência dos próprios tecidos quanto da reactância ou oposição causada pela capacidade de isolamento à condução da corrente elétrica das membranas celulares e por elementos não-iônicos, são determinadas as quantidades de água corporal total, fluídos intracelulares e extracelulares mediante modelos preditivos específicos. Na sequência, por derivações e com emprego de supostas frações da hidratação corporal, são estimadas as proporções de massa isenta de gordura e massa de gordura.

Por outro lado, a antropometria é uma técnica sistemática utilizada para medir dimensões do corpo humano. Sua origem remonta-se à antiguidade; contudo, passou a despertar interesse especial a partir da década de 1940, em razão de evidências quanto à associação entre as dimensões do corpo e diversas áreas do conhecimento. Especificamente para análise da composição corporal, as medidas de espessura das dobras cutâneas é o indicador antropométrico mais comumente utilizado. No entanto, são disponibilizadas

também propostas mais simples mediante construção de índices que envolvem medidas de estatura, peso corporal e circunferências de cintura e quadril.

A principal finalidade da presente publicação é difundir conhecimento disponibilizado sobre os protocolos clínicos de análise da composição corporal, mormente procedimentos identificados com as técnicas de bioimpedância elétrica e antropometria. Seu conteúdo está organizado em seis itens: (1) histórico e evolução conceitual da composição corporal; (2) modelos de análise; (3) procedimentos de análise da composição corporal; (4) técnica de bioimpedância; (5) técnica antropométrica; e (6) uso de protocolos clínicos em jovens, idosos e atletas. Claramente, a pretensão não é esgotar tema com essa complexidade e cercado de tantas controvérsias. No entanto, espera-se que possa servir de material de consulta para atuação dos profissionais da área de saúde.

# CAPÍTULO

# 1

**Histórico e  
evolução conceitual da  
composição corporal**

Preocupação e interesse pela composição corporal têm uma longa trajetória histórica. As primeiras concepções conhecidas sobre a composição corporal podem ser encontradas na antiga Grécia por volta do ano 400 a.C. Os helenos transformaram seus pensamentos e superaram a origem mitológica dos entes vivos e das manifestações físicas do mundo e passaram a entender que o corpo humano e os seres vivos eram formados pelos quatro elementos fundamentais do cosmos: fogo, terra, ar e água.

O próprio Hipócrates acreditava que o corpo consistia de quatro constituintes: sangue, linfa, bÍlis escura e bÍlis amarela. A partir dessa concepção, Galeno manteve a ideia de equilíbrio ou homeostase, reinventada séculos depois por Claude Bernard e cientificamente cunhada por Walter Canon em 1939. Nessa época, sustentava-se o pressuposto de que as enfermidades resultavam de um desequilíbrio, no corpo, dos quatro constituintes em consequência de fatores ambientais, dieta e hábitos de vida, e que esses fluidos em pessoas híginas se encontravam em proporção semelhante <sup>[1]</sup>.

Embora, a princípio, essa proposta possa parecer desconectada dos conceitos de composição corporal, como se conhece nos dias atuais, ao contrário, é ela que dá sentido à análise de seus constituintes, em razão de suas proporções dependerem do funcionamento dos sistemas orgânicos. Nesse caso, pode-se citar, como exemplo, o impacto que tem a depleção de glicogênio no rendimento físico de humanos ou a diminuição excessiva de gordura corporal na função reprodutiva da mulher <sup>[2]</sup>.

Apesar desse início tão longínquo, é surpreendente que a análise da composição corporal tenha sido constituída como um ramo da ciência, apenas há 170 anos. De acordo com estudiosos da área, a revisão histórica do período deve ser considerada, basicamente, em três grandes fases: fase inicial (1850 a 1960), fase recente (1960 a 2000) e fase contemporânea (século XXI) <sup>[3]</sup>.

## Fase Inicial dos Estudos de Composição Corporal

Nessa fase, surgem os primeiros estudos relacionados à composição corporal em seres humanos, possíveis graças ao avanço de outras áreas do conhecimento, como a química, a anatomia e a nutrição. O pesquisador alemão *Justus von Liebig* (1803–1873), com suas aproximações baseadas em análises químicas, foi o primeiro a identificar substâncias específicas contidas nos alimentos que faziam parte dos tecidos do corpo; também postulou que os fluidos corporais continham mais sódio e menos potássio que os tecidos. Ainda, no primeiro terço do século XIX, o sociólogo e estatístico belga *Lambert Adolphe Jacques Quetelet* escreveu sua obra original “*Sur l’homme et le développement des Facultés, essai d’une físico sociale*”, em que, entre outros temas relacionados à morfologia corporal, descreveu pela primeira vez o que é certamente o componente mais citado na literatura científica e mais utilizado no campo profissional em que se envolvem indicadores de composição corporal: o índice de massa corporal – IMC [4].



*Lambert Adolphe Jacques Quetelet*

No século XX, uma das primeiras publicações específicas sobre a composição corporal procurou descrever as relações entre crescimento, nutrição e diferentes

constituintes do corpo [5]. Essa publicação marcou o início dos estudos empíricos sobre a composição corporal que, por sua vez, podem ser subdivididos em três áreas de pesquisa: estudos em cadáveres, métodos *in vivo* e foco nas alterações dos constituintes.

### **Estudos em cadáveres**

Em vista da impossibilidade de analisar a composição corporal humana *in vivo* – apesar das severas restrições que existiam em vários países, em que, há pouco mais de 170 anos, não era possível a doação de corpo humano para a ciência – os primeiros estudos foram realizados a partir da dissecação de cadáveres. No entanto, após estabelecer os processos legais para a coleta e doação de cadáveres para estudos de anatomia, tornou-se possível usá-los para análise quantitativa de seus constituintes [6]. Assim, em 1843, *Schwann* quantificou, pela primeira vez, as características de órgãos de vários cadáveres e, duas décadas depois, *Bischoff* analisou o conteúdo de água de cadáveres humanos. Mais tarde, em 1877 *Fehling* quantificou o total de água de fetos e recém-nascidos. No início do século XX, *Camerer* e *Söldner* estimaram a composição química de fetos e recém-nascidos, fracionando seu conteúdo de água, gordura, nitrogênio e dos principais minerais. Já em 1938, *Iob* e *Swanson* realizaram análises de um corpo completo, incluindo minerais para fetos e recém-nascidos. Também merecem destaque os trabalhos de *Mildred Trotter* que conduziram os primeiros estudos com esqueletos completos e definiram seu peso, conteúdo mineral desidratado (termo anglo-saxão “*ash*”) e variação étnica [7].

Como pode ser deduzido, estudos de dissecação humana tiveram uma importância transcendental para o avanço do conhecimento relacionado aos componentes fundamentais do corpo humano e suas relações macroscópicas. Sua validade segue vigente, uma vez que a variabilidade interindividuos e suas determinantes ainda não estão completamente estabelecidas para exigir estudos com amostras numerosas e heterogêneas. O maior conjunto de dissecações do corpo humano foi realizado pelo Estudo de Bruxelas, que incluiu os corpos de

12 homens e 13 mulheres e forneceu uma grande quantidade de dados <sup>[8]</sup>. As análises consistiram em estabelecer medidas antropométricas dos cadáveres e sua posterior dissecação por tecidos (pele, adiposo subcutâneo, músculos, ossos e vísceras), determinando o peso de cada um dos componentes químicos e o cálculo das densidades individuais. Como será descrito mais adiante, o conhecimento direto da densidade tecidual é um dos paradigmas mais importantes no desenvolvimento de modelos matemáticos para definir os componentes de composição corporal a partir de medidas físicas do corpo, como volume, espessuras de dobras cutâneas ou atenuação de raios fótons depois da passagem pelos tecidos. Portanto, somente com o conhecimento de forma direta das densidades dos tecidos é que torna possível estimar posteriormente de forma indireta *in vivo*.

Estudo em cadáveres é a única alternativa que possibilita analisar a composição corporal em todos os seus níveis e, além disso, estabelecer bases para validação de procedimentos e técnicas *in vivo*. Todavia, aspectos como temperatura corporal, desidratação e outros fatores associados à preservação do corpo pós-morte podem limitar a extrapolação de informações e dados para amostras *in vivo* <sup>[8]</sup>.



Estudo em cadáveres de Bruxelas



## Métodos *in vivo*

Embora até o início do século XX as limitações tecnológicas não permitiram medir os componentes internos, os paradigmas para análise dos componentes de composição corporal *in vivo* são, sem dúvida, antigos. A identificação dos resíduos moleculares constituintes dos tecidos na urina foi uma das primeiras aproximações. Evidências sugerem que foi *Foli*, em 1905, o primeiro a supor que a creatinina poderia ser usada para avaliar uma porção da composição corporal. No entanto, foi em 1909 que *Shaffer* e *Coleman* utilizaram, pela primeira vez, a depuração da creatinina em urina de 24 horas, como indicador da massa muscular esquelética, tornando-se este, provavelmente, o primeiro componente corporal de um nível diferente do corpo inteiro estimado *in vivo*. Nessa etapa inicial, também os fluidos corporais e alguns componentes relevantes foram medidos a partir do, ainda utilizado, princípio da diluição <sup>[1]</sup>.

O princípio de Arquimedes (287-212 a.C.) também contribuiu fortemente para o avanço da análise dos componentes de composição corporal, sendo inicialmente aplicado em 1942 pelo fisiólogo e oficial da Marinha Norte-americana *Albert Ricard Behnke* (1903-1992) para estimar as proporções relativas de massa de gordura e massa livre de gordura em humanos <sup>[9]</sup>. *Ansel Benjamin Keys* (1904-2004) e *Josef Brozek* (1913-2004), em 1953, desenvolveram esse método hidrodensitométrico de forma mais detalhada, o qual, com pequenas variações, ainda hoje está sendo utilizado <sup>[10]</sup>. Assim, o princípio de Arquimedes fornece dados para estabelecer estimativas da proporção de gordura corporal e, até os dias atuais, por vezes, o método densitométrico por pesagem subaquática (hidrostática), derivado desse mesmo princípio, vem sendo considerado como *gold standard* para validação de outros métodos mais simplificados e acessíveis <sup>[11]</sup>.



Ancel Benjamin Keys



Josef Brozek



Albert Ricard Behnke

Outro importante marco desse período foi a descoberta de isótopos por Soddy em 1911, o que possibilitou a estimativa do potássio corporal total, definindo-se como o primeiro elemento medido *in vivo* no corpo humano. As aplicações de isótopos começaram a ocorrer de forma profusa e, em 1934 von Hevesy e Hofer publicaram pela primeira vez o protocolo para o uso de óxido de deutério ( $^2\text{H}_2\text{O}$ ) como recurso para determinar o volume total de água corporal. Posteriormente, em 1946, Moore mediu a troca de sódio/potássio, íons que estão distribuídos principalmente nos fluidos corporais e, portanto, também podem ser derivados pelo princípio da diluição. Também, a partir de investigações isotópicas Sievert em 1951 demonstrou que a quantidade de  $^{40}\text{K}$  (radioisótopo de potássio) no corpo humano era suficientemente grande tanto para ser detectada e quantificada por técnicas radioativas, quanto para permitir avaliar a quantidade do potássio total corporal sem qualquer marcador a partir de emissões radioativas [9].

A continuação desses estudos por Forbes resultou, em 1961, no método para estimar a massa livre de gordura e a própria gordura a partir da quantidade de potássio corporal total, utilizando para isso das análises da radiação gama do  $^{40}\text{K}$ . Por sua vez, Fischer usou outro isótopo radioativo de  $^{42}\text{K}$  para quantificar a permeabilidade dos tecidos livres de gordura para esse elemento. Esse avanço serviu a um colega de sua equipe, Francis Moore, para quantificar a troca de potássio e, assim, es-

tabelecer a base para a quantificação da massa celular corporal. Ainda, nesse momento, foi estabelecida a base para a estimativa do peso do esqueleto *in vivo* e de sua densidade a partir dos trabalhos de Paul Baker com raios-X em 1958.

### **Foco nas alterações dos constituintes**

Idade é, provavelmente, o primeiro fator considerado nas alterações dos constituintes de composição corporal. Em 1857, Aubert von Bezold verificou que o crescimento dos animais era acompanhado por um aumento na proporção de resíduos secos, e, por sua vez, por uma diminuição concomitante do conteúdo de água. Em 1914, Benjamin descobriu que as crianças acumulavam nitrogênio durante o processo de crescimento e, com base nessa constatação, Moulton em 1923, propôs o conceito de *maturidade química* para definir o momento em que a composição química da criança se aproxima à do adulto, principalmente no que diz respeito à estabilidade química do componente de massa livre de gordura [12].

Nutrição foi outro fator amplamente estudado durante essa fase inicial de pesquisa. Trabalhos como os de Cathcart em 1907, ou o de Benedict em 1919, encontraram relações diretamente proporcionais entre a quantidade de nitrogênio corporal e a quantidade de alimento ingerida por uma pessoa. Outros fatores, como exercício físico, raça, sexo e enfermidades, que influenciam nos constituintes da composição corporal foram posteriormente estudados. Especificamente com relação às enfermidades, certamente os mais relevantes foram aqueles relacionados à distribuição regional da composição corporal, tendo como referência histórica os estudos do médico francês Jean Vague (1911-2003) que, entre 1940-1950, constatou aumento na probabilidade de complicações metabólicas e cardiovasculares entre as pessoas com maior acúmulo de gordura corporal na região centrípeta. Na mesma linha, Earl Reynolds (1910-1998) do Instituto de Pesquisa Fels - Inglaterra, descreveu pela primeira vez, nos anos 1950s, a distribuição de adiposidade em crianças e adolescentes.



Jean Vague



Earl Reynolds

### Outros avanços importantes observados nesta fase

Além dos avanços relatados nas três seções anteriores, surgiram outros eventos e achados importantes relacionados à composição corporal nessa época. Em 1959, Moleschott foi o primeiro a relatar as quantidades de proteínas, gorduras, sais e água no corpo humano. No mesmo ano, Lawes e Gilbert observaram que o conteúdo de água dos animais mantinha uma relação proporcionalmente inversa à quantidade de gordura, da mesma forma que se conhece atualmente para os humanos. Em 1835, Quetelet observou que o peso corporal aumenta em uma proporção quadrática com a estatura e estabeleceu o índice de Quetelet, que hoje em dia conhecemos como índice de massa corporal graças a Ancel Benjamin Keys. Em 1896, Katz descreveu detalhadamente os elementos químicos do músculo. O conceito de “massa protoplasmática ativa” foi cunhado por Voit em 1901 e Rubner em 1902. O próprio Rubner é um dos autores que, nessa época, começou a relacionar conceitos de energéticos com componentes da composição corporal.

Foi em 1906 que Adolf Magnus-Levy (1865-1955) tratou pela primeira vez o conceito de massa livre de gordura, tão importante para as futuras gerações de investigadores e profissionais da composição corporal. Em 1916, Delafield Du Bois (1880-1965) e Eugene Floyd Du Bois

Bois (1882-1959) propuseram equação para estimar a superfície corporal, conceito fundamental para aplicações terapêuticas específicas relacionadas à nutrição e à farmacologia, além de sua importância para relativizar algumas variáveis fisiológicas.

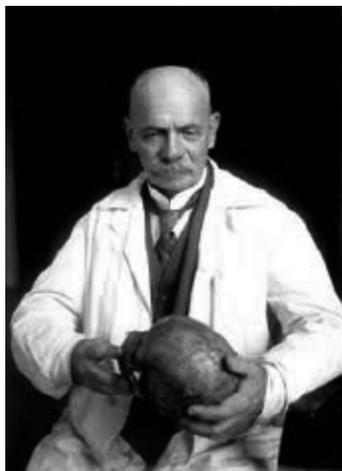


Adolf Magnus-Levy



Eugene Floyd Du Bois

Baseando-se na mesma linha antropométrica, o antropólogo checo-eslovaco Jindrich Matiegka desenvolveu, em 1921, uma série de equações e coeficientes para fracionar o peso corporal em seus diferentes constituintes (músculo, osso e gordura) [13]. Em 1923, Moulton e Marriott propuseram os conceitos de “maturação química da composição corporal”. Ainda que, nessa fase inicial de estudos da composição corporal, possa haver muitas outras contribuições de destaque, finaliza-se a revisão histórica dessa etapa, fazendo-se referência aos trabalhos da equipe de Flaminio Fidanza, que em 1953 relataram a uniformidade da densidade da gordura corporal humana [14]. Esse achado foi decisivo para determinar os compartimentos da composição corporal mediante métodos densitométricos de dois componentes (gordura + massa livre de gordura), e que ganharam grande relevância no final desse período e muitos deles ainda são válidos e utilizados nos dias de hoje. Nesse período, foram desenvolvidos três modelos de dois componentes: Behnke em 1942, Siri em 1956 e Brozek em 1963.



Jindrich Matiegka



Flaminio Fidanza

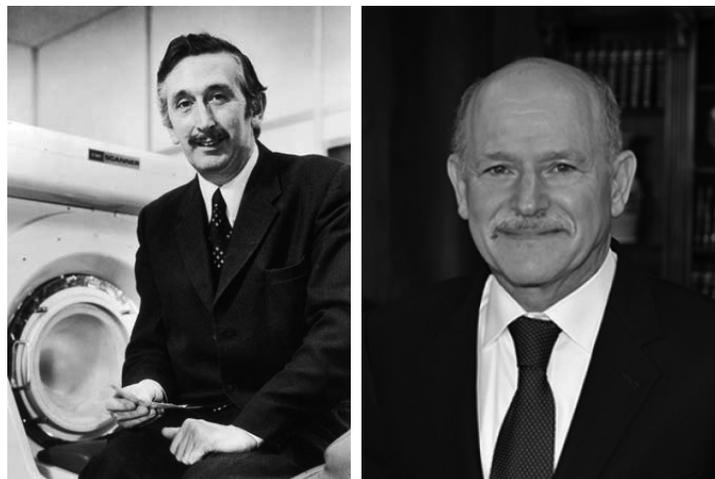
O fim dessa fase inicial de estudos da composição corporal é marcado pela celebração do I Simpósio de Composição Corporal da Sociedade para o Estudo da Biologia Humana, organizado pela Academia de Ciências de Nova York em 1963. A partir desse ponto surge uma nova etapa de rápidos avanços nas investigações sobre as concepções da composição corporal.

## Fase Recente dos Estudos de Composição Corporal

Sem dúvida, o período de 1960 a 2000 foi de grande importância para o avanço das concepções relacionadas à análise da composição corporal e para a aquisição de um *status* diferenciado no campo da biologia humana. O aprimoramento identificado nessa fase está diretamente associado à evolução tecnológica observada em outras áreas do conhecimento notadamente para uso na composição corporal. Assim, os avançados métodos de análise de ativação de neutrons e novas técnicas de imagem, como, por exemplo, a tomografia axial computadorizada, ressonância magnética nuclear e ultrassonografia, ofereceram novas perspectivas para análise da composição corporal, aperfeiçoando alguns de seus pressupostos iniciais e avançando quanto à validade, confiabilidade e precisão.

Do ponto de vista específico da composição corporal, o primeiro grande avanço científico dessa era foi a proposição e a validação do modelo de três compartimentos que possibilitaram a William Siri quantificar, em 1961, a gordura corporal <sup>[15]</sup>. Um ano depois, *Thomasset* foi o pioneiro a apresentar a técnica de bioimpedância elétrica <sup>[16]</sup>. Em 1963, *Sorenson* e *Cameron* desenvolveram a base teórica da absorptometria radiológica para diferenciar os tecidos do corpo humano. Alguns anos depois, em 1968, no Congresso Anual da Associação Americana de Antropólogos Físicos em Detroit, *Richard Mazess* apresentou estudo pioneiro para estimativas do esqueleto e do peso ósseo por absorptometria direta de fótons e, quatro anos depois, foi desenvolvido o primeiro densitômetro ósseo comercial. Nessa mesma época, *Anderson* e sua equipe de trabalho <sup>[17]</sup> e, na sequência, *Cohn* e *Dombrowski* <sup>[18]</sup> estabeleceram as bases para uso do método de ativação de neutrons voltado à análise da composição corporal, método de referência para identificar *in vivo* vários elementos moleculares, como, por exemplo, cálcio ou sódio total do corpo; inclusive a quantidade de gordura corporal pode ser derivada a partir desse método.

Em 1973, o engenheiro inglês *Godfrey Hounsfield* apresentou o primeiro sistema de imagem de tomografia axial computadorizada, que permitiu pela primeira vez observar por completo o interior do corpo humano. A importância desse equipamento foi tal que lhe valeu o Prêmio Nobel de Medicina e Fisiologia. Além disso, seu nome será sempre lembrado no campo da composição corporal, em razão das unidades de densidade radiológica utilizadas para diferenciar/converter volumes de imagens em massa levarem seu nome. A técnica de tomografia axial computadorizada foi utilizada pela primeira vez especificamente para análise da composição corporal pela equipe de *Steven B Heymsfield* <sup>[19]</sup>.



Godfrey Hounsfield

Steven B Heymsfield

Na década de 1980, os avanços no campo da composição corporal começaram a se desenvolver de forma definitiva e surgiram estudos importantes. A introdução e a validação da técnica de ressonância magnética nuclear para análise da composição corporal se deram nessa época. Por outro lado, *Richard Mazess* continuou com sua inquietação tecnológica e, em 1980, fundou junto com seus colegas da Universidade de Wisconsin (Madison, EUA) a Lunar Corporation, para poder distribuir os equipamentos desenvolvidos. Posteriormente, em 1988, surgiu, em definitivo, o primeiro densitômetro radiológico comercial de dupla energia (DXA – Dual X-Ray Absorptiometry) para analisar a composição corporal de corpo inteiro. Ressalta-se que esta é uma das metodologias que mais vem contribuindo para a evolução do conhecimento sobre a composição corporal na última década.

No final desse período, já havia uma quantidade aceitável de dados sobre a composição corporal pós-morte e *in vivo*. Assim, em 1975, o grupo de investigação de *Snyder* resumiu todas as informações sobre a composição corporal para idealizar o *homem de referência*, conceito reintroduzido de *Josef Brozek* e apresentado em 1952, depois que *Quetelet* o propôs pela primeira vez em 1842 [120]. Os primeiros estudos sobre velocidade

de crescimento físico, publicados por *Alex Frank Roche* em 1973, lançaria as bases para que o grupo de *Samuel Fomon* viesse a propor, na década de 1980, a *criança de referência* do nascimento aos 10 anos [121]. Ambos os autores têm sido de grande importância para a área da nutrição pediátrica.

A partir de 1986, vem sendo realizado, quadrienalmente, o Simpósio Internacional sobre Estudos de Composição Corporal *in vivo*. A primeira edição aconteceu em Nova York e a última em Lisboa, em 2014, organizada pelo Laboratório de Saúde e Exercício da Universidade Técnica de Lisboa.

A parte mais contemporânea dessa etapa foi caracterizada por um crescente interesse demonstrado pelas áreas da medicina clínica, da nutrição e do exercício físico, devido às importantes implicações práticas associadas aos componentes da composição corporal. Grande parte dos esforços científicos foram direcionados a idealizar novos métodos e tecnologias para dimensionar os componentes estruturais do corpo humano e validar ou aprimorar a validade dos métodos até então existentes para aplicação em situações clínicas (controle de respostas e adaptações biológicas diante de intervenções dietéticas, monitoramento dose-respostas em programas de exercício físico, etc.) ou em levantamentos epidemiológicos.

Isso fez com que a literatura mundial experimentasse grande expansão – Tabela 1.1. Nas últimas décadas, a quantidade de artigos científicos com impacto passou, a cada ano, de algumas centenas para milhares. Nas décadas de 1980 e 1990, a quantidade de publicações aumentou ao mesmo tempo que aumentou também a quantidade de estudos mais bem controlados, com maior validade e uso de técnicas mais econômicas e de aplicação imediata, como é o caso da bioimpedância elétrica e da antropometria. Esses estudos internacionais vieram complementar as primeiras equações antropométricas para jovens e adultos idealizadas

com base em populações norte-americanas e do Reino Unido, sendo as mais conhecidas as de Andrew Jackson e Michael Pollock <sup>[21,22]</sup>, e as dos escoceses John Durnin e John Womersley <sup>[23,24]</sup>.

Tabela 1.1 Quantidade de publicações científicas com impacto internacional durante os séculos XX e XXI no âmbito da composição corporal e sua metodologia.

Década	Tema Central	
	Conceitos, pressupostos e intervenções	Proposição e validade de técnicas
1900 – 1909	1	-
1910 – 1919	1	-
1920 – 1929	2	-
1930 – 1939	4	-
1940 – 1949	14	-
1950 – 1959	139	-
1960 – 1969	368	-
1970 – 1979	522	543
1980 – 1989	762	549
1990 – 1999	1.671	556
2000 – 2009	2.943	575
2010 – 2018	3.543	373

Um dos últimos avanços tecnológicos dessa era foi a construção e a divulgação, em 1995, do pletismógrafo de deslocamento de ar, conhecido como BOD e POD, para medir a densidade corporal <sup>[25]</sup>. Esse equipamento facilitou a aplicação do método densiométrico, criado por Albert Ricard Behnke <sup>[9]</sup>, que até então só era possível mediante os procedimentos de pesagem hidrostática. Também foi no final da década de 1990 que a técnica de ultrassonografia começou a ser utilizada para análise da adiposidade visceral, sendo pioneiros os estudos dos grupos italianos <sup>[26]</sup> e japoneses <sup>[27]</sup>. No entanto, apesar de ser uma técnica relativamente simples, de baixo custo e aplicável em ambiente clínico, não vem sendo utilizada nestas duas primeiras décadas do século XXI.

Para concluir essa fase histórica da composição corporal, convém referir alguns dos investigadores mais importantes neste tema durante os anos 1980 e 1990, uma vez que são certamente responsáveis pelo esta-

do fértil em que esta área se encontra atualmente. Nos Estados Unidos e na Europa, existem vários grupos que desenvolveram excelente trabalho; no entanto, os mais destacados pela repercussão de seus estudos são:

- a) o grupo do *Hospital St Luke-Roosevelt* de Nova York, nesse momento liderado por Steven Heymsfield, responsável por grande parte da sistematização moderna das análises dos componentes de composição corporal, era um dos poucos grupos no mundo que usaram análise de ativação de nêutrons para quantificar elementos do corpo;
- b) o grupo de Kenneth Ellis, de *Baylor College of Medicine* em Atlanta, responsável pelos estudos de validação da DXA e sistematização metodológica disseminada na década de 1990;
- c) a equipe Dale Schoeller, da *Universidade de Wisconsin*, que aplicou, pela primeira vez em 1982, a técnica de água duplamente marcada em humanos para estimar a água corporal total e o dispêndio energético. Dale Schoeller é um dos especialistas mundiais em diluição de isótopos estáveis para análise da composição corporal e metabolismo energético;
- d) o grupo da *Universidade do Arizona* liderado por Timothy Lohman, que desenvolveu atividade intensa na análise da composição corporal de crianças, adolescentes e atletas. Esse grupo propôs valores de referência para jovens e validou metodologias para uso clínico e para monitoramento de alterações em consequência da prática de exercício físico e de intervenções dietéticas;
- e) Robert Malina, professor emérito da *Universidade do Texas* em Austin, é provavelmente um dos investigadores mais citados no campo da morfologia, crescimento físico e atividade física; durante esse tempo estudou o desenvolvimento físico de crianças e adolescentes e suas interações com maturação biológica e desempenho motor, além de suas determinantes genéticas;

f) na Europa, os principais expoentes foram *Paul Deurenberg*, do *Departamento de Epidemiologia e Nutrição Humana da Universidade de Wageningen* na Holanda, que atuou em estreita colaboração com *Antonio de Lorenzo*, do *Departamento de Fisiologia da Universidade de Tor Vergata* em Roma. Ambos desenvolveram trabalhos que envolviam água corporal e sua distribuição no corpo, além de se aprofundarem na tecnologia e na metodologia de uso da bioimpedância elétrica.

Essas são apenas algumas das referências mais representativas nesse período. Os grupos continuam a atuar em diferentes tópicos de interesse. Observa-se que esses não foram os únicos grupos de trabalho da época; outros grupos também realizaram projetos específicos com impacto na composição corporal que contribuíram significativamente para a área de conhecimento. Por exemplo, o grupo de *David Kelley*, do *Departamento de Endocrinologia e Metabolismo da Universidade de Pittsburgh*, com seus estudos sobre a associação entre composição corporal regional e resistência à insulina, em estreita colaboração com o grupo liderado por *Robert Ross* da *Universidade de Queen*, Canadá, que tem contribuído para o desenvolvimento de novas tecnologias direcionadas à análise da composição corporal mediante tomografia axial computadorizada e ressonância magnética nuclear.

## Fase Contemporânea dos Estudos de Composição Corporal

Não obstante os avanços tecnológicos sempre estarem na vanguarda da evolução de qualquer conhecimento, certamente o presente e o futuro da composição corporal passam pelo estudo de suas determinantes genéticas. Estudos epidemiológicos genéticos de herança, gêmeos, adoção e outras metodologias não-invasivas, como o estudo de certos distúrbios mendelianos, serviram para dar os primeiros passos, no término do século XX, e nos mostrar os principais fenótipos da composi-

ção corporal, além de sua variabilidade condicionada geneticamente<sup>[28]</sup>. Assim, por exemplo, assumiu-se que havia uma herança aproximada de 35% para o índice de massa corporal, independentemente de sexo e idade, embora o efeito genotípico fosse de apenas 15%<sup>[29]</sup>.

Com o advento de novas tecnologias e avanços na biologia molecular, conseguiu-se diferenciar alguns dos principais genes que condicionam a magnitude dos diferentes compartimentos do corpo<sup>[30]</sup>. Isso, juntamente com os avanços na tecnologia para estimar os constituintes da composição corporal total e sua distribuição, permitiu melhor diferenciação dos fenótipos e isolamento seletivo dos genes que os condicionam. Com o uso de métodos densitométricos estabeleceu-se que a variância total da proporção de gordura corporal foi explicada em 25% por fatores genéticos e em 30% pela influência ambiental, o que levou os estudiosos a assumirem a existência de um gene importante que condiciona o acúmulo de gordura no corpo. Essa suposição parece ser confirmada ao encontrarem-se elevadas associações entre alguns polimorfismos da ACE (abreviatura em inglês da enzima conversora de angiotensina) e a gordura corporal, ou entre o gene do receptor de vitamina D e a densidade de mineral ósseo<sup>[31]</sup>, fator que condiciona a aplicabilidade de alguns modelos densitométricos. Atualmente, existem várias linhas de pesquisa no campo da genética da composição corporal, seguidas pelo grupo de *Claude Bouchard* (Universidade de Laval, Canadá), um dos mais importantes na área da genética da atividade física e da composição corporal. Estudos de destaque nesse campo são o *Framingham Heart*, o *Canadá Fitness Research*, o *Quebec Family Study* e o *HERITAGE*.

Outro aspecto importante para a nova era da composição corporal são os estudos de composição corporal funcional e os métodos específicos de análise. Essa área inclui estudos das relações dinâmicas entre os constituintes do corpo e suas próprias funções. As alterações observadas na composição corporal podem e devem estar relacionadas às várias condições fisiológi-

cas e patológicas. O conceito de composição corporal funcional proporciona uma visão mais sofisticada do estado nutricional e metabólico, do desempenho físico e das enfermidades <sup>[32]</sup>. Mais do que uma medida dos componentes do corpo, esse conceito está relacionado às interações quantitativas e biológicas dos componentes, equilíbrio energético, funções metabólicas, biomarcadores de saúde e capacidade de trabalho <sup>[33]</sup>. Por exemplo, a *modelagem* (estimativas mediante equações) das adaptações metabólicas, durante programas de redução do peso corporal, solicita uma interpretação dinâmica que considera as alterações do peso corporal a partir de uma análise multicompartimental. Portanto, o conhecimento das alterações na densidade do peso corporal reduzido, associado ao dispêndio energético verificado durante o programa, pode oferecer melhor interpretação da intervenção e de seus resultados <sup>[34]</sup>. Embora esse seja um conceito retomado recentemente, sua importância já havia sido assinalada por Quetelet, que tentou determinar os distúrbios de saúde, as influências e suas causas naturais. Com seus dados, se bem que limitado pela tecnologia da época, foi descrito como um *homem de referência* estático.

Para a identificação dos componentes de composição corporal, nos dias atuais são cada vez mais comuns o uso de sistemas de leitura automático e a proposição de programas de informática, que facilitam enormemente os procedimentos de medida, reduzindo tempo e custos e aprimorando a qualidade dos dados recolhidos. Além disso, a tecnologia de imagem tem permitido a análise da composição corporal regional, facilitando inferências fisiológicas mais precisas e o acompanhamento de adaptações específicas de tecidos e compartimentos moleculares em resposta às intervenções, por exemplo, mediante o uso da *DXA*, ecografia e ressonância magnética nuclear.

No Brasil, o início do século XXI tem visto a expansão de grupos de trabalho que concentram suas atividades acadêmicas e profissionais na análise da composição corporal. No campo acadêmico, em uma busca

no Diretório dos Grupos de Pesquisa do CNPq, realizada em outubro de 2018, contaram-se 125 linhas de pesquisa direcionadas a investigações relacionadas à composição corporal. Nesse particular, os grupos de pesquisa se concentram em temas específicos da composição corporal: alguns procuram analisar, por exemplo, a repercussão de diferentes programas de exercício físico e intervenções dietéticas em um constituinte em particular, ou no conjunto de constituintes; outros, monitorar a composição corporal de atletas na tentativa de auxiliar na prescrição de treino potencializando o desempenho no esporte; existem, ainda, aqueles grupos de pesquisa que concentram suas investigações em levantamentos epidemiológicos direcionados a identificar o perfil de saúde da população em geral.

No que diz respeito ao campo profissional, as técnicas antropométricas e de bioimpedância elétrica são bem aceitas para uso no monitoramento do peso corporal em clínicas e *centros de fitness*. Nos últimos anos, cursos de educação continuada, patrocinados por instituições de ensino e entidades de classe e direcionados aos profissionais que atuam na área, têm auxiliado enormemente na difusão de ambas as técnicas, auxiliando na introdução e na disseminação dos conceitos de composição corporal na cultura e na atuação desses profissionais.

Em síntese, pode-se inferir que a análise da composição corporal é uma realidade no campo científico e de prática profissional em todo o mundo. No Brasil, parece que se vem consolidando como uma área específica de estudo nas últimas décadas. Além disso, já é parte da prática diária de profissionais de medicina, nutrição e educação física. No entanto, os paradigmas em que se assentam seus pressupostos, protocolos e metodologias ainda são pouco conhecidos por muitos profissionais e, talvez, por parte da comunidade científica emergente. Selecionadas informações e avanços científicos descritos na literatura mais recente deverão ser tratados na sequência desta publicação, com ênfase nos procedimentos clínicos caracterizados pelas técnicas de bioimpedância elétrica e antropometria.

## Referências

1. Schultz SG. William Harvey and the circulation of the blood: the birth of a scientific revolution and modern physiology. *News Physiol Sci*. 2002; 17:175-80.
2. Bale P. Body composition and menstrual irregularities of female athletes. Are they precursors of anorexia? *Sports Med*. 1994; 17:347-52.
3. Wang ZM. Human body composition models and methodology: Theory and experiment [PhD]. Wageningen: Wageningen Agricultural University; 1997.
4. Quetelet LA. A treatise on man and the development of his faculties. 1842. *Obes Res*. 1994; 2:72-85.
5. Mendel LB, Judson SE. Some Interrelations Between Diet, Growth, and the Chemical Composition of the Body. *Proc Natl Acad Sci*. 1916; 2:692-4.
6. Humphrey DC. Dissection and discrimination: the social origins of cadavers in America, 1760-1915. *Bull N Y Acad Med*. 1973; 49:819-27.
7. Wang Z, Wang ZM, Heymsfield SB. History of the study of human body composition: A brief review. *Am J Hum Biol*. 1999; 11:157-65.
8. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT. Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Hum Biol*. 1984; 56:459-73.
9. Behnke AR, Feen BG, Welham WC. The specific gravity of healthy men. *JAMA*. 1942; 118:495-8.
10. Keys A, Brozek J. Body fat in adult man. *Physiol Rev*. 1953; 33:245-325.
11. Ellis KJ. Selected body composition methods can be used in field studies. *J Nutr*. 2001; 131:1589S-95S.
12. Fomon SJ, Haschke F, Ziegler EE, Nelson SE. Body composition of reference children from birth to age 10 years. *Am J Clin Nutr*. 1982; 35:1169-75.
13. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol* 1921; 4:223-30.
14. Fidanza F, Keys A, Anderson JT. Density of body fat in man and other mammals. *J Appl Physiol*. 1953; 6:252-6.
15. Siri WR. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek JA., editor. *Techniques for measuring body composition*. Washington D.C.: A. Nat. Acad. Sci; 1961. p. 223-44.
16. Thomasset MA. Bioelectric properties of tissue. Impedance measurement in clinical medicine. Significance of curves obtained. *Lyon Med*. 1962; 94:107-18.
17. Anderson J, Osborn SB, Tomlinson RW, Newton D, Rundo J, Salmon L, et al. Neutron-Activation Analysis in Man in Vivo. A New Technique in Medical Investigation. *Lancet*. 1964; 2:1201-5.
18. Cohn SH, Dombrowski CS. Measurement of total-body calcium, sodium, chlorine, nitrogen, and phosphorus in man by in vivo neutron activation analysis. *J Nuclear Med*. 1971; 12:499-505.
19. Heymsfield SB, Olafson RP, Kutner MH, Nixon DW. A radiographic method of quantifying protein-calorie undernutrition. *Am J Clin Nutr*. 1979; 32:693-702.
20. Snyder W, Cook M, Nasset E, Karhausen L, Howells G, Tipton I. Report of the Task Group on Reference Man. Protection ICoR, editor. Oxford, UK: Pergamon; 1975.
21. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr*. 1978; 40:497-504.
22. Jackson AS, Pollock ML. Prediction accuracy of body density, lean body weight, and total body volume equations. *Med Sci Sports*. 1977; 9:197-201.
23. Durnin JV, Womersley J. Total body fat, calculated from body density, and its relationship to skinfold thickness in 571 people aged 12-72 years. *Proc Nutr Soc*. 1973; 32:45A.
24. Durnin JV, Womersley J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr*. 1974; 32:77-97.
25. Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc*. 1995; 27:1692-7.
26. Armellini F, Zamboni M, Robbi R, Todesco T, Rigo L, Bergamo-Andreis IA, et al. Total and intra-abdominal fat measurements by ultrasound and computerized tomography. *Int J Obes Relat Met Disord*. 1993; 17:209-14.
27. Suzuki R, Watanabe S, Hirai Y, Akiyama K, Nishide T, Matsushima Y, et al. Abdominal wall fat index, estimated by ultrasonography, for assessment of the ratio of visceral fat to subcutaneous fat in the abdomen. *Am J Med*. 1993; 95:309-14.
28. Bouchard C, Malina RM, Perusse L. Understanding the Methods. In: Bouchard C, Malina RM, Perusse L, editors. *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Champaign: Human Kinetics; 1997. p. 59-84.
29. Bouchard C, Malina RM, Perusse L. Genetics of Body Fat and Fat Distribution. In: Bouchard C, Malina RM, Perusse L, editors. *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Champaign: Human Kinetics; 1997. p. 173-209.
30. Rankinen T, Bray MS, Hagberg JM, Perusse L, Roth SM, Wolfarth B, et al. The Human Gene Map for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: The 2005 Update. *Med Sci Sports Exerc*. 2006; 38:1863-88.
31. Bouchard DR, Malina RM, Perusse L. Genetics of Body Fat and Fat Distribution. In: Bouchard DR, Malina RM, Perusse L, editors. *Genetics of Fitness and Physical Performance*. Champaign: Human Kinetics; 1997. p. 173-209.
32. Sardinha LB. Functional Body Composition: Need for a New Agenda. *Arch Exerc Health Dis*. 2012; 3:183-7.
33. Muller MJ. From BMI to functional body composition. *Eur J Clin Nutr*. 2013; 67:1119-21.
34. Muller MJ, Bosy-Westphal A, Heller M. 'Functional' body composition: differentiating between benign and non-benign obesity. *Biol Rep*. 2009; 1:75.

# CAPÍTULO 2

## Modelos de análise

Histórico e evolução  
conceitual da  
composição corporal

**34**

O crescente interesse pela análise da composição corporal tem atraído a atenção de pesquisadores e profissionais de diferentes áreas do conhecimento biológico, o que tem favorecido o desenvolvimento de novos conceitos e de recursos tecnológicos possibilitando cada vez maior precisão e exatidão na identificação e interpretação de seus constituintes.

Atualmente estão disponíveis inúmeras técnicas e variados métodos para a análise da composição corporal que têm como pressupostos diferentes modelos teóricos. Cada um desses modelos apresenta características conceituais e procedimentos metodológicos que lhes conferem maior ou menor validade e facilidade de uso, tornando-os, portanto, ora mais, ora menos aconselháveis em razão da precisão desejável e da finalidade para as quais são propostos.

## Níveis de Organização da Análise da Composição Corporal

Na tentativa de incorporar os novos avanços observados mais recentemente e de oferecer melhor compreensão dos seus princípios norteadores tem-se procurado analisar a composição corporal com o uso do modelo composto por cinco níveis de organização clássica no domínio da biologia. Por esse modelo, a composição corporal é descrita desde o nível atômico, incluídos os respectivos elementos, até o nível de corpo inteiro, com a utilização de dimensões antropométricas <sup>[1]</sup>. Os cinco níveis de organização do corpo oferecem estrutura conceitual em que as várias abordagens da composição corporal podem ser estabelecidas de maneira clara e precisa. Em cada nível, o conjunto de todos os constituintes é equivalente à medida do peso corporal – Figura 2.1.

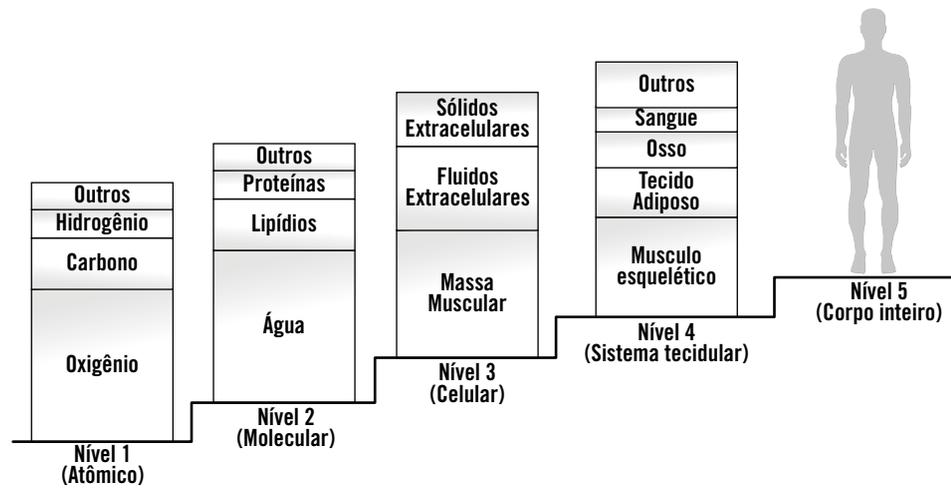


Figura 2.1 – Modelo de análise da composição corporal com cinco níveis de organização.

A maior contribuição dessa aproximação conceitual reside no fato de que, em cada nível, os constituintes apresentam definição operacional bastante nítida e assim evitam qualquer sobreposição de outros constituintes no mesmo nível. Além disso, é reconhecido que as relações entre os vários constituintes de cada nível são estáveis durante períodos específicos de tempo, o que comporta importantes implicações metodológicas para as diversas técnicas de medida.

### Nível atômico

O primeiro nível de organização do corpo é formado por 50 elementos atômicos. Da massa corporal total, 98% são determinados por combinações de oxigênio, carbono, hidrogênio, nitrogênio e cálcio. Os 45 elementos restantes representam não mais que 2%.

A principal utilização do nível atômico se baseia na relação de elementos específicos com os outros níveis de organização. Como exemplo de análise da composição corporal nesse nível, pode-se citar a verificação do equilíbrio de nitrogênio como indicador da proporção de proteínas no corpo e a quantidade de cálcio corporal como indicador do constituinte ósseo. As quantidades de proteína e de cálcio fazem parte do nível molecular da organização do corpo.

### Nível molecular

O próximo nível inclui os compartimentos moleculares da massa corporal. Estima-se que possa haver por volta de 100 mil compostos moleculares; no entanto, para efeito de análise da composição corporal, esses são reduzidos aos cinco principais: água, lipídios, proteínas, carboidratos e minerais.

Grande parte das técnicas de medida associadas à análise da composição corporal utiliza esse nível de organização. Com base em estudos em cadáveres, verifica-se que aproximadamente 60% da massa corporal é composta por água, sendo 26% extracelulares e 34% intramusculares; menos de 20% por lipídios, dos quais 17% são não-essenciais e 2,1, essenciais; 15%, por proteínas e 5,4%, por minerais, perfazendo 99,4% do constituinte molecular do total do corpo [2]. Os recursos mais frequentemente empregados para as estimativas desses componentes moleculares baseiam-se em substâncias marcadas por isótopos, ativação de nêutrons e absorção de fótons, respectivamente.

### Nível celular

O nível celular é considerado o primeiro da organização anatômica e divide o corpo em massa celular total, fluidos e sólidos extracelulares. A massa celular total é composta por diferentes tipos de células, incluídos os adipócitos, os miócitos e os osteócitos. Os fluidos extracelulares compõem-se predominantemente de água e reúnem plasma intravascular e extravascular.

Os sólidos extracelulares incluem substâncias orgânicas, como colágenos e fibras elastinas nos tecidos conectivos, e elementos inorgânicos, como cálcio e fósforo, encontrados predominantemente no tecido ósseo.

Enquanto as quantidades de fluidos extracelulares podem ser estimadas por meio de substâncias marcadas por isótopos, os sólidos extracelulares são determinados por intermédio da ativação de nêutrons.

### Nível tecidual dos sistemas

O quarto nível do modelo de organização do corpo consiste dos principais tecidos, órgãos e sistemas orgânicos que, embora difiram em grau de complexidade, apresentam, todavia, disposição funcional de tecidos. As quatro categorias de tecidos são: conectivo, epitelial, muscular e nervoso. Os tecidos adiposo e ósseo são formas de tecido conectivo especializado que, associados ao tecido muscular, respondem por cerca de 75% da massa corporal total. Os outros tecidos – epitelial e nervoso – têm sido considerados como de menor significado na análise da composição corporal.

Recentes avanços tecnológicos com relação à avaliação por imagens (ultrassom, ressonância magnética, absorção de fótons e tomografia computadorizada) têm oferecido grande potencial para estimativas precisas sobre a quantidade dos tecidos muscular, adiposo e ósseo.

### Nível de corpo inteiro

Esse nível de organização considera o corpo humano como uma unidade única com relação ao seu tamanho, forma, área e densidade. Essas características são determinadas de maneira mais imediata e incluem a estatura, a massa e o volume corporal.

## Fracionamento do peso corporal

A primeira tentativa de fracionamento do peso corporal foi desenvolvida por Jindrich Matiegka, no início do século XX. Como o interesse na época era tão-somente analisar a eficiência física dos componentes, foi proposta a determinação de forma estanque e isolada dos compartimentos de gordura, músculo, osso e residual. Apesar da enorme importância estratégica, nos dias atuais essa proposição não encontra grande repercussão entre os especialistas da área por desconsiderar alguns princípios metabólicos de fundamental importância para a composição corporal.

Com o propósito de oferecer maior clareza e objetividade à análise e à interpretação dos diferentes componentes e suas implicações, tornou-se habitual considerar a composição corporal sob um sistema de dois componentes: o componente de gordura e o componente não-gorduroso (Figura 2.2). O componente não-gorduroso é a parte do peso corporal que permanece após a remoção da gordura, e, portanto, é formado pelos tecidos muscular e esquelético, pela pele, pelos órgãos e por todos os outros tecidos não-gordurosos.



Figura 2.2 – Composição corporal sob um sistema de dois componentes.

A maior vantagem desse sistema está no fato de que, quando o conteúdo de gordura é conhecido, o componente não-gorduroso pode também ser determinado pela simples subtração aritmética do peso corporal. Ou, inversamente, quando se tem acesso à proporção do peso corporal não-gorduroso, o componente de gordura pode ser derivado por operações aritméticas. Pelas características desse modelo, ao se estimar um dos componentes, a porção de gordura ou a porção não-gordurosa, concomitantemente ter-se-á uma visão muito clara de ambos os componentes e isso facilitará, sobremaneira, a avaliação da composição corporal.

Considerando-se esse raciocínio, percebe-se que, se não existem maiores dificuldades para chegar ao peso corporal, o fundamental na análise da composição corporal, mediante um sistema de dois componentes, é a determinação da quantidade de gordura, admitindo-se que, em relação às implicações práticas, ao se comparar com a porção não-gordurosa do peso corporal, aquele componente é bem mais acessível.

### **Componente de gordura**

Um dos problemas cruciais da análise da composição corporal é a ausência de homogeneidade terminológica relacionada aos seus conceitos, o que por vezes compromete a interpretação de seus resultados e dificulta o estabelecimento de comparações entre diferentes técnicas de medidas. Exemplo disso é a utilização indiscriminada do termo “gordura” e do sintagma “tecido adiposo” como sinônimos, quando na verdade se constituem em duas entidades biológicas diferentes.

O tecido adiposo é formado por células adiposas (adipócitos), fluidos extracelulares, endotélio vascular, colágeno e fibras elásticas. Em contrapartida, a gordura é definida como o total de lipídios no organismo. Lipídios são substâncias químicas indissolúveis na água e dissolúveis em soluções orgânicas como o éter.

Existem várias formas de lipídios no organismo humano; porém, a de maior quantidade é o triglicerídeo. Outras formas de lipídios abrangem menos de 10% de toda a gordura corporal, entre as quais os fosfolipídios, os esteróides e o colesterol.

No que se refere à função, os lipídios são classificados em essenciais e não-essenciais. Os lipídios essenciais, compostos principalmente por fosfolipídios, são aqueles indispensáveis ao funcionamento adequado das estruturas fisiológicas, como o cérebro, a medula óssea, o tecido cardíaco e as membranas celulares. Portanto, estão armazenados no interior dos principais órgãos e músculos e em estruturas do sistema nervoso. Ainda não está totalmente esclarecido se essa categoria de gordura é consumível ou se é apenas uma reserva armazenada. Por esse motivo, os lipídios essenciais são ignorados nas estimativas do componente de gordura ou nos agregados aos tecidos residuais.

Os lipídios não-essenciais constituem-se a gordura estocada no tecido adiposo, por intermédio dos adipócitos, sob a forma de triglicerídios. Apesar de os triglicerídios desempenharem função fisiológica especí-

fica, deverão ser considerados lipídios não-essenciais. O tecido adiposo, que se localiza abaixo da superfície da pele (gordura subcutânea) e entre os principais órgãos (gordura visceral), tem como principal função a produção de energia para o trabalho biológico. Logo, desempenha papel proeminente no desenvolvimento dos processos de obesidade e emagrecimento.

Comparando-se a disposição de ambas as categorias de lipídios entre os sexos, observa-se que, nas mulheres adultas, em razão da necessidade de uma quantidade adicional de gordura caracterizada pelo próprio sexo feminino, a quantidade de lipídios essenciais torna-se maior em proporção de aproximadamente quatro vezes em relação aos homens. Ainda que a exata quantidade não seja conhecida, esses lipídios essenciais adicionais observados nas mulheres vêm a ser de grande importância biológica no processo de gestação e de outras funções hormonais típicas do sexo.

Com referência aos lipídios não-essenciais, a proporção relacionada ao peso corporal é muito mais similar entre ambos os sexos, mais ainda maior nas mulheres, numa prova de que, em igualdade de condições, as mulheres sempre apresentam quantidades relativas de gordura corporal superiores quando comparadas aos homens.

### **Componente não-gorduroso**

A definição operacional do componente não-gorduroso pode variar consideravelmente de acordo com a estratégia empregada em sua estimativa. De maneira geral, têm-se utilizado duas expressões para o componente não-gorduroso: massa magra ou *lean body mass* (LBM) e massa isenta de gordura ou *fat-free mass* (FFM). Da mesma forma que no caso do tecido adiposo e da gordura, algumas vezes essas duas expressões têm sido tratadas como sinônimos. No entanto, deve-se atentar para a existência de importantes diferenças entre ambos os conceitos.

Quando surgiu o conceito relacionado à massa magra, partiu-se da suposição de que seus valores são estabelecidos com base em proporções constantes de água, minerais e matéria orgânica, incluindo-se também quantidade não-determinada de lipídios essenciais. Em contraposição, a massa isenta de gordura é constituída pelo peso corporal, excluída toda a gordura do organismo, até mesmo, os lipídios essenciais, o que poderá ser aplicado apenas em análise de cadáveres.

Por conseguinte, as diferenças entre a massa magra e a massa isenta de gordura dependem do considerar ou não considerar a inclusão dos lipídios essenciais em sua determinação. Portanto, a massa magra se caracteriza por um conceito *in vivo*, enquanto a massa isenta de gordura, por um conceito *in vitro* – Figura 2.3. A propósito dessas definições, os profissionais em suas rotinas de serviço, ao se referirem ao componente, dependendo da técnica de medida empregada, deverão se dar conta do conceito mais apropriado: massa magra ou massa isenta de gordura.

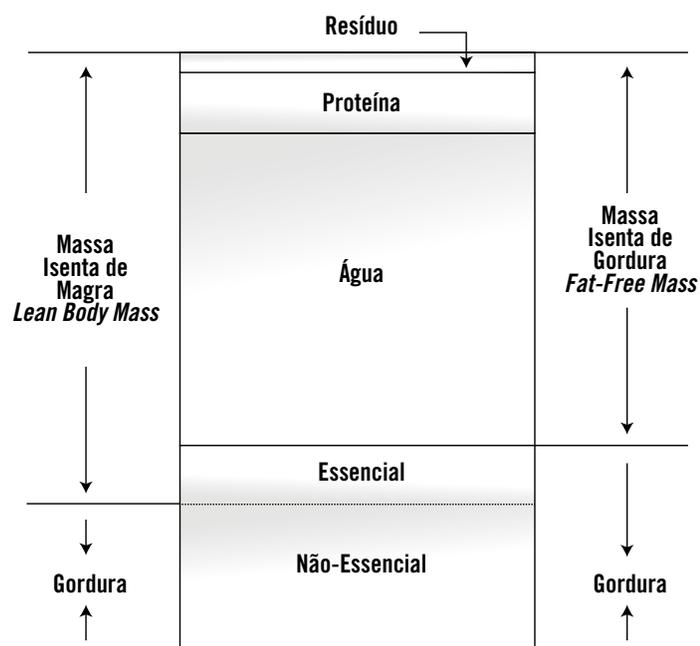


Figura 2.3 – Compartimento molecular da composição corporal.

## Abordagem multicompartimental da composição corporal

Na apreciação clássica do fracionamento do peso corporal em dois componentes, considera-se que as proporções de constituintes que compõem a gordura e a massa isenta de gordura são relativamente constantes. Enquanto parece não existirem diferenças na proporção dos constituintes associados à gordura, estudos demonstram consideráveis variações no perfil dos constituintes da massa isenta de gordura por causa de adaptações biológicas em virtude da maturação dos tecidos orgânicos, do nível de condicionamento físico e do processo de envelhecimento<sup>[3]</sup>. O sexo e a etnia também contribuem para as diferenças na constituição relativa da massa isenta de gordura.

Evidências apontam para a instabilidade das variações induzidas pela falta de estabilidade na composição dos constituintes da massa isenta de gordura – principalmente a água, os minerais e as proteínas – que podem induzir a erros de estimativas próximos de 4%, quando do fracionamento do peso corporal em apenas dois componentes: gordura e massa isenta de gordura<sup>[4]</sup>.

Com base nesse raciocínio, ao se obterem informações sobre os múltiplos compartimentos que compõem a massa isenta de gordura tende-se a reduzir os vieses que acompanham o fracionamento do peso corporal em dois componentes. Por exemplo, adicionando-se informações sobre a proporção de água corporal na análise da composição corporal reduzem-se os erros de estimativa da massa isenta de gordura e da gordura provocados por diferenças individuais de hidratação. Se, além da proporção de água corporal, forem incluídas informações sobre o conteúdo mineral, os erros de estimativa tendem a se reduzir ainda mais.

Em vista disso, quando acessíveis, as abordagens multicompartimentais da massa isenta de gordura passaram a fazer parte na análise da composição corpo-

ral. Sua utilização reside na expectativa de que, quanto maior a quantidade de compartimentos utilizados como referência, menores os erros de estimativa no fracionamento do peso corporal.

As duas estratégias mais frequentemente empregadas com esse fim envolvem estimativas sobre a contribuição relativa da quantidade de água e de mineral na porção do peso corporal isento de gordura (Figura 2.4). Assim, poder-se-ão obter abordagens tricompartmentais (gordura + água + componente magro seco) ou tetracompartmentais (gordura + água + mineral + resíduo).

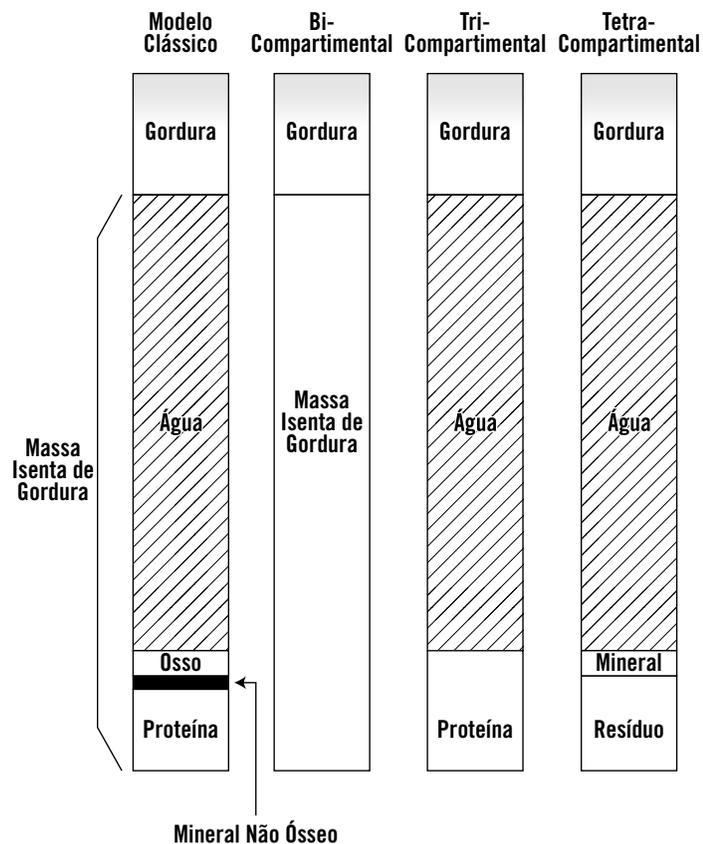


Figura 2.4 – Abordagens multicompartmentais da composição corporal.

Uma das primeiras tentativas de análise da composição corporal com o uso do modelo tricompartmental foi preconizada por Siri [5]. Contudo, evidências

assinalam que a utilização dessa proposta, em alguns casos, pode subestimar a quantidade de gordura em relação ao peso corporal quando comparada com o modelo de dois componentes [6]. Assim, na sequência, outro modelo tricompartmental, concebido especialmente para as condições em que torna possível observar a variabilidade da contribuição relativa do mineral ósseo na massa isenta de gordura permite aumentar a precisão das estimativas do componente de gordura [7].

Indubidavelmente, em tese, os modelos de quatro compartimentos constituem os referenciais de maior validade para análises multicompartmentais da composição corporal. No entanto, os dois modelos disponíveis atualmente para uso [8,9] têm sido matéria de extensos debates na literatura, o que indica a permanência de limitações nos pressupostos teóricos, metodológicos e estatísticos que ainda necessitam ser ultrapassadas.

Independentemente das características do indivíduo, a utilização de modelos de análise multicompartmentais aumenta o controle sobre a variabilidade biológica da massa isenta de gordura e evita erros sistemáticos na análise dos indicadores de composição corporal. Entretanto, esse controle biológico torna-se mais importante em grupos particulares de indivíduos em que são conhecidas as maiores instabilidades nos constituintes de água e de conteúdo de mineral ósseo, como é o caso de crianças, adolescentes, idosos e atletas com grande desenvolvimento de massa muscular. Portanto, quando de sua utilização especificamente em indivíduos adultos, deve-se levar em conta a relação custo-benefício, em razão da maior complexidade de seus procedimentos e dos elevados custos dos equipamentos necessários à realização das medidas.

## Referências

1. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five level model: a new approach to organising body composition research. *Am J Clin Nutr.* 1992;56:19-29.
2. Lukaski HC. Methods for the assesment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr.* 1987;46:537-56.
3. Deurenberg P, Weststrate JA, Van der Kooy K. Is an adaptation of Siri's formula for the calculation of body fat percentage from body density in the elderly necessary? *Eur J Clin Nutr* 1989;43:559-68.

4. Lohman TG. *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1992.
5. Siri WE. *Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods*. In: Brozek J, Henschel A (Eds.) *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, National Academy of Science, 1961, p. 223-44.
6. Withers R, Laforgia J, Heymsfield S, Wang ZM, Pillans R. *Two, three and four-compartment chemical models of body composition*. In: Norton K; Olds T (Eds.). *Anthropometrica: A Textbook of Body Measurement for Sports and Health Courses*. Sydney, University of South Wales Press, 1996, p.199-231.
7. Lohman TG. *Applicability of body composition techniques and constants for children and youths*. *Exer Sports Sci Rev* 1986;14:325-57.
8. Selinger A. *The Body as a Three Component System*. Doctoral Disseertation. Illinois, University of Illinois, 1977.
9. Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman S, Wang J, Pierson RN. *Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations*. *Am J Clin Nutr* 1991;53(6):1345-53.

# CAPÍTULO 3

## Procedimentos de análise da composição corporal

Para análise da composição corporal podem-se empregar técnicas com procedimentos de determinação direta, laboratorial e clínica. Os procedimentos de determinação direta são aqueles em que se obtêm informações *in vitro* dos diferentes tecidos do corpo mediante dissecação macroscópica ou extração lipídica. Apesar da elevada precisão, esse procedimento implica incisões no corpo, o que requer a utilização de recursos extremamente sofisticados e em cadáveres de humanos. Portanto, embora os procedimentos de determinação direta dos componentes associados à composição corporal sejam importantes por oferecer suporte teórico às demais técnicas de medida, são os procedimentos laboratoriais e clínicos que possibilitam analisar os componentes de gordura e de massa magra ou isenta de gordura *in vivo* (Figura 3.1).

Procedimentos de análise da composição corporal

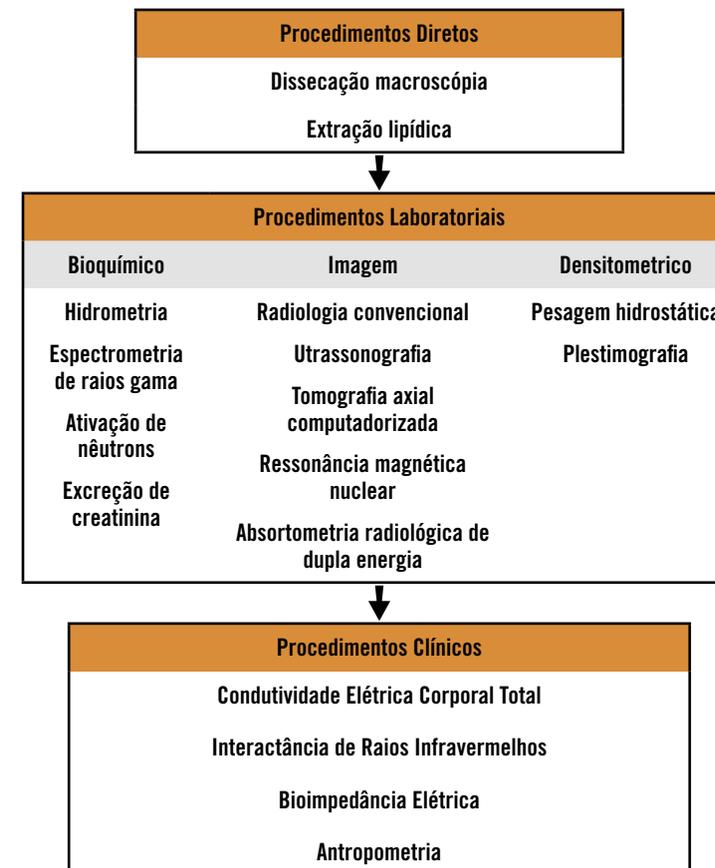


Figura 3.1 – Procedimentos de medida para análise da composição corporal.

Nos procedimentos laboratoriais são obtidas informações sobre as variáveis de domínio físico e químico. Na sequência, lança-se mão dos pressupostos biológicos e desenvolvem-se estimativas dos componentes de gordura e de massa magra ou isenta de gordura. Em contrapartida, nos procedimentos clínicos faz-se uso de equações de regressão a fim de predizer variáveis associadas aos procedimentos laboratoriais que, por sua vez, deverão estabelecer estimativas a respeito dos componentes da composição corporal. Enfatiza-se que as informações sobre a composição corporal obtidas com os procedimentos clínicos referem-se apenas a estimativas, estando, portanto, sujeitas a vieses expressos em linguagem estatística pelos erros de estimativa.

Nesse particular, dois estudos experimentais de grande relevância para a área da composição corporal com a dissecação de cadáveres humanos merecem destaque: o de Matiegka <sup>[1]</sup>, realizado no início do século XX, e o de Clarys e equipe <sup>[2]</sup>, realizado na década de 1980.

Com base no estudo pioneiro de Matiegka foram apresentados coeficientes cujo objetivo era estabelecer estimativas sobre o peso de gordura, músculo, ossos e residual (órgãos e vísceras). Como o interesse na época era tão-somente analisar a eficiência física dos constituintes corporais, estabeleceu-se o fracionamento do peso corporal de forma estanque e isolada entre cada componente. Apesar de sua enorme importância estratégica, o modelo original desconsiderou princípios metabólicos e funcionais de fundamental importância biológica, originando informações muitas vezes discrepantes em relação aos indicadores reais da composição corporal.

No outro estudo sobre procedimentos de determinação direta da composição corporal contou-se com uma amostra de 25 cadáveres, com idade, em vida, entre 55 e 94 anos. Diferentemente do estudo anterior, nesse caso as medidas antropométricas e a composição anatômica foram verificadas nos mesmos cadáveres.

Desse modo, tornou-se possível oferecer importantes contribuições sobre a relação entre os diferentes tecidos e o peso corporal, de que resultaram informações de grande interesse a respeito da validação de vários outros métodos associados à composição corporal, sobretudo o método antropométrico. Ressalta-se que a aplicação desse modelo de análise em populações jovens e de adultos deve ser realizada com cautela, considerando-se que a amostra de estudo foi composta exclusivamente por sujeitos idosos.

Diante da grande variedade de métodos associados à análise da composição corporal disponível, a principal preocupação é com a escolha daquele que melhor atende às necessidades do profissional e às características do avaliado. Considerando-se que não existe nenhuma técnica de medida que possa ser considerada ideal, sugere-se que, antes de se tomar qualquer decisão nesse sentido, se pondere sobre as vantagens e as desvantagens relacionadas a cada técnica.

## Procedimentos laboratoriais

Os procedimentos de determinação laboratorial dos componentes de composição corporal podem ser reunidos em três grupos de técnicas de medida: bioquímico, de imagem e de densitometria. Dentre as técnicas de medida baseadas em pressupostos bioquímicos, as que recebem maior destaque envolvem a hidrometria, a espectrometria de raios gama, a ativação de nêutrons e a excreção de creatinina. Em geral, a infraestrutura e o custo financeiro dos equipamentos necessários, somadas à complexidade dos protocolos de medida, limitam essas técnicas ao campo experimental. Além disso, seus procedimentos baseiam-se em constantes bioquímicas que não têm sido suficientemente validadas para uso em humanos.

No grupo das técnicas de medida por imagem, a absorptometria radiológica de dupla energia tem sido o recurso mais utilizado; contudo, não se pode ignorar a existência de outros métodos igualmente importantes,

como a radiologia convencional, a ultrassonografia, a tomografia axial computadorizada e a ressonância magnética nuclear. Com relação às técnicas densitométricas, a pesagem hidrostática, também denominada pesagem subaquática, tem sido considerada método *good standard* na análise da composição corporal. No entanto, mais recentemente a pletismografia tem recebido atenção especial (Figura 3.2).

Técnicas de Medida	Indicadores Biológicos	Constituintes da Composição Corporal
<b>Métodos Bioquímicos</b>		
Hidrometria	Água corporal	Massa isenta de gordura
Espectrometria de raios gama	Potássio corporal	Massa isenta de gordura
Ativação de nêutrons	Elementos químicos	Massa isenta de gordura
Excreção de creatina	Creatinina corporal	Massa muscular
<b>Métodos de Imagens</b>		
Radiologia convencional	Diferenciação de tecidos	Massa óssea, muscular e gordura
Ultra-sonografia	Espessuras de tecidos	Massa óssea, muscular e gordura
Tomografia axial computadorizada	Diferenciação de tecidos	Massa óssea, muscular e gordura
Ressonância magnética nuclear	Diferenciação de tecidos	Massa óssea e de gordura
Absortometria radiológica de dupla energia	Diferenciação de tecidos	Massa óssea e de gordura
<b>Métodos Densitométricos</b>		
Pesagem hidrostática	Densidade corporal	Massa de gordura
Pletismografia	Densidade corporal	Massa de gordura

Figura 3.2 – Técnicas em que se recorre aos procedimentos de medidas laboratoriais direcionados à análise da composição corporal.

### Hidrometria

O uso da técnica de hidrometria para análise da composição corporal baseia-se na suposição de que a quantidade de água é razoavelmente constante na massa isenta de gordura, com negligenciável instabilidade associada à gordura estocada no tecido adiposo. Desse modo, conhecida a quantidade total de água no organismo é possível estimar o componente de massa isenta de gordura do indivíduo<sup>[3]</sup>.

Para determinação da quantidade total de água corporal tem sido utilizada a administração de água destilada acompanhada de substâncias marcadoras, que se difundem e se misturam com a água do corpo. As substâncias marcadoras empregadas contêm isótopos de hidrogênio ou de oxigênio, sendo, contudo, o óxido de deutério (<sup>2</sup>H<sub>2</sub>O) o marcador mais utilizado.

Com relação ao protocolo de medida, após a ingestão oral ou a administração intravenosa da substância marcadora, aguarda-se um período de 3 a 4h a fim de possibilitar o completo equilíbrio do isótopo entre os vários compartimentos do organismo. Na sequência, recolhem-se amostras de urina ou de sangue para análise da absorção pelo organismo da substância marcadora.

A amostra recolhida deverá apresentar menor concentração da substância marcadora que a da dose inicialmente administrada, já que parte dela é diluída na água corporal. Desse modo, os cálculos sobre a quantidade total de água corporal são baseados na relação:

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

em que  $C_1 V_1$  representam as quantidades do isótopo administrado,  $C_2$  a concentração do isótopo no fluido biológico e  $V_2$  o valor estimado da água corporal.

Supondo-se que aproximadamente 73,2% da massa isenta de gordura são constituídos de água e que os triglicerídios armazenados não possuem água, o componente de massa isenta de gordura é estimado, estabelecendo-se relação entre a quantidade total de água no organismo e a constante 0,732:

$$\text{Massa Isenta de Gordura (kg)} = \frac{\text{Água Total (L)}}{0,732}$$

Uma vez conhecida a medida estimada da massa isenta de gordura, o componente de gordura corporal é determinado pelo cálculo da diferença entre o peso corporal e a massa isenta de gordura:

$$\text{Gordura Corporal (kg)} = \text{Peso Corporal (kg)} - \text{Massa Isenta de Gordura (kg)}$$

### **Espectrometria de raios gama**

A técnica de espectrometria de raios gama consiste na determinação da quantidade de potássio do organismo. Grande parte do potássio orgânico encontra-se sob a forma de íons de potássio ( $K^+$ ), com proporções relativamente constantes do isótopo radioativo de potássio  $^{40}K$ . Por sua vez, esse  $^{40}K$  emite raios gama que podem ser detectados com contadores específicos <sup>[4]</sup>.

Admitindo-se que a concentração de  $^{40}K$  na massa isenta de gordura é constante e conhecida (60 e 66mmol/kg nas mulheres e nos homens, respectivamente), ao se estabelecer a quantidade de potássio corporal total torna-se possível desenvolver estimativas sobre a massa isenta de gordura mediante simples relação matemática. O componente de gordura corporal é determinado pela diferença entre as medidas do peso corporal e da massa isenta de gordura.

### **Ativação de nêutrons**

Essa técnica baseia-se na capacidade dos núcleos de alguns isótopos capturar nêutrons de alta ou baixa energia. Os nêutrons são bombardeados com partículas alfa procedentes de um reator. Esse processo gera emissão imediata de um fóton do isótopo e uma radiação mais tardia do novo isótopo radiativo do elemento formado pela captura dos nêutrons. Essa radiação é formada por raios gama (1,4 meV) e especialmente por raios beta (1,4-4,2meV).

Dessa forma, bombardeando-se os isótopos estáveis de diversos elementos – sódio-24, magnésio-27, alumínio-28, cloro-38, cálcio-49, nitrogênio-13, potássio-40 etc. – pode-se quantificar a concentração desses elementos no organismo. Mediante a utilização de uma fonte de nêutrons rápidos (*fast neutro analysis*), pode-se estimar diretamente a quantidade de gordura corporal, considerando-se que esta contém 64% de carbono corporal.

Para as estimativas da massa muscular, além do isótopo 40, pode-se utilizar a quantidade de nitrogênio

corporal total, visto que seus núcleos emitem radiação de raios gama muito rápidos (10,8meV). Para converter os dados do conteúdo de nitrogênio em massa isenta de gordura, considera-se a constante 30,1g/kg. Contudo, essa constante depende da muscularidade, da capacidade de hidratação e da densidade óssea do avaliado <sup>[5]</sup>.

### **Excreção de creatinina**

A creatinina caracteriza-se como metabólito da creatina. Então, levando-se em conta que 98% de toda a creatinina do corpo humano deposita-se no tecido muscular, ao estabelecer-se a quantidade presente de creatinina corporal e tomando-se essa proporção como constante é possível estimar a massa muscular do avaliado. Concentrações de creatinina corporal podem ser estabelecidas por rotinas laboratoriais com amostras de urina ou de sangue.

Em razão da praticidade – já que a coleta de amostras de urina para essa finalidade exige várias tomadas sucessivas – e da precisão de medida, opta-se mais frequentemente pelas estimativas de concentração de creatinina no plasma sanguíneo. Cada mg de creatinina presente no plasma sanguíneo equivale a 0,88kg de massa muscular <sup>[6]</sup>.

A principal limitação desse método está na possibilidade da excreção de creatinina corporal ser afetada por dietas hiperproteicas e pela prática de exercício físico que envolvem, sobretudo, a força/resistência muscular, podendo, por isso, apresentar elevado coeficiente de variação individual.

### **Radiologia convencional**

A utilização de raios-x permite, mediante exposição em tempo adequado de duração e intensidade, delimitar com razoável definição os tecidos subcutâneo, muscular e ósseo. Por intermédio de compassos ou instrumentos eletrônicos, são estabelecidas as espessuras dos tecidos refletidos nas imagens bidimensionais das chapas radiográficas.

Por questão de segurança na exposição à radiação, o segmento específico mais empregado para o uso de raios-x direcionado à análise da composição corporal é o braço, uma vez que, para essa região do corpo, é possível obter imagens radiográficas com menor índice de radiação que o verificado em outras partes.

Mais recentemente, em razão da disponibilidade de outros métodos com características similares e com qualidade de imagem mais adequada, seu uso tem sido reservado apenas para situação de excepcionalidade.

### **Ultrassonografia**

Originalmente, essa técnica foi idealizada para monitorar a quantidade de gordura em animais domésticos. Contudo, graças a algumas modificações em sua metodologia, a técnica passou a ser empregada também em humanos. O método consiste na emissão de ondas sonoras ou vibrações de alta frequência, por medidor ultrassônico, as quais penetram através da superfície da pele e possibilitam estabelecer a espessura dos tecidos biológicos.

Em tese, as ondas de alta frequência emitidas em regiões específicas do corpo deverão atravessar as substâncias biológicas homogêneas sem que se registrem interferências perceptíveis; todavia, ao encontrar uma área de contato de textura diferente, parte dessas ondas sonoras reverte-se à unidade de origem sendo, então, convertida em impulsos elétricos de amplitude proporcional à espessura do tecido penetrado e registrada na tela de um osciloscópio. Na sequência, essas informações são tratadas e com isso se obtém um mapeamento das camadas dos três principais tecidos do corpo: gordura subcutânea, músculo e osso [7]. Assim, a técnica de ultrassonografia tem, como principal vantagem, o fato de permitir estimativas dos componentes de gordura e de massa isenta de gordura em diferentes regiões do corpo, separadamente.

A aparição e o desenvolvimento dessa técnica coincidem com o declínio do uso da radiografia clássica

para a análise da composição corporal. O aparelho utilizado é leve, portátil e de fácil manuseio, qualidades que parecem não compensar seu elevado custo financeiro.



Figura 3.3 – Equipamento empregado na técnica de ultrassonografia.



Figura 3.4 – Imagem obtida pela técnica de ultrassonografia na região abdominal.

### **Tomografia axial computadorizada**

Essa técnica consiste em um método radiológico que permite obter imagens sequenciadas de um segmento específico ou de todo o corpo avaliado. Em síntese, consiste em fazer passar feixes de raios x pela região corporal objeto de análise. De acordo com a densidade dos tecidos que atravessam, os raios deverão apresentar diferentes coeficientes de atenuação. Sensores específicos captam raios atenuados e geram imagens no computador que permitem reconhecer os tecidos adiposo, muscular e ósseo.

Com excelente capacidade de resolução anatômica e com informações altamente precisas, especialmente das partes duras (ossos), esse método tem, no entanto, o grave inconveniente de estar associado à emissão de elevada e perigosa carga de radiação ionizante. Seis scanners de um único braço emitem radiação equivalente a 40% da permitida para o ser humano, por ano [8].



Figura 3.5 – Equipamento empregado na técnica de tomografia axial computadorizada.



Figura 3.6 – Imagem cross-sectinal obtida pela técnica de tomografia axial computadorizada na região abdominal.

### **Ressonância magnética nuclear**

Com essa técnica, uma imagem dos tecidos do corpo é gerada por radiação eletromagnética, sob influxo de forte campo magnético que excita o núcleo dos átomos de hidrogênio das moléculas de água e de lipídios. O núcleo emite sinais que, captados pelo computador, são tratados e transformados em imagens, e, dessa forma, permitem diferenciar os tecidos moles (gordura e músculo) das estruturas ósseas. Esse método tem sido especialmente utilizado na monitoração da quantidade de gordura intra-abdominal.

A gordura, pelo seu alto conteúdo em núcleos de hidrogênio e pelas suas características bioquímicas, deverá gerar sinal de ressonância de grande intensidade e

oferecer, na imagem tratada, coloração mais clara que a destaca dos outros tecidos (Figura 3.8).

Menor radiação, maior resolução, contraste dos tecidos moles e imagens geradas em planos tridimensionais são as principais vantagens desse método em comparação com a tomografia axial computadorizada. Contudo, ainda persistem limitações devidas ao elevado custo dos equipamentos, o que restringe sua utilização ao campo experimental.



Figura 3.7 – Equipamento empregado na técnica de ressonância magnética nuclear.

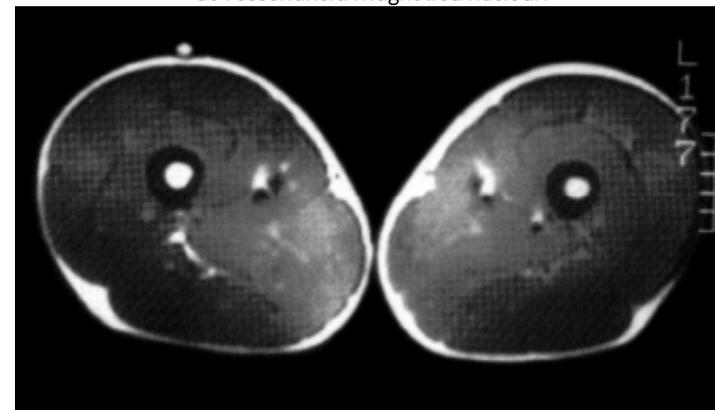


Figura 3.8 – Imagens obtidas pela técnica de ressonância magnética nuclear no terço médio da coxa.

### **Absortometria radiológica de dupla energia**

A utilização da absortometria radiológica de dupla energia (DXA), como recurso para análise da com-

posição corporal, baseia-se no pressuposto de que o grau de atenuação de radiações de cada tecido orgânico depende do comprimento da onda utilizada e do número atômico dos elementos interpostos. Portanto, ao se estabelecer o nível de atenuação diferencial de fótons emitidos a duas diferentes energias, podem-se distinguir diferentes tipos de tecidos orgânicos <sup>[9]</sup>.

Essa técnica representa um aprimoramento da absorptometria de fóton único – empregada exclusivamente no diagnóstico e no acompanhamento da osteoporose – por meio de estimativas do perfil da densidade e do conteúdo de mineral ósseo. A absorptometria radiológica de dupla energia emite fótons muito mais rápidos e intensos que a de fóton único, com a vantagem de expor o indivíduo a menor radiação (0,05 a 1,5 mRems).

Seus procedimentos consistem na utilização de fontes de raios x como fonte de energia radiante pela emissão de fótons com dois níveis de energia (40 e 70 keV). Os feixes de fótons são dirigidos ao corpo do avaliado e ocorrem interações atômicas com os elementos constituintes dos tecidos orgânicos. Os níveis de atenuação, em consequência das interações atômicas resultantes da passagem de feixes de fótons através dos tecidos orgânicos, são captados por detectores em cada pico de energia.

Os níveis de atenuação, representados por valores de R, dependem do tipo e da proporção dos elementos constituintes dos tecidos orgânicos e da velocidade e intensidade dos fótons emitidos. Os elementos orgânicos de números atômicos baixos (hidrogênio e carbono) atenuam menos os feixes de fótons, enquanto os elementos de número atômico alto (cálcio e fósforo) atenuam mais fortemente os feixes de fótons. Com relação aos feixes de fótons, quanto maior sua velocidade/intensidade, menor o nível de atenuação. Assim, nas situações em que a área corporal, objeto de análise, apresenta predomínio do conteúdo de gordura, os valores de R deverão ser menores em razão da gordura apresentar elevada proporção de car-

bono em sua constituição. Os tecidos moles apresentam valores de R mais elevados pela acentuada presença de oxigênio, nitrogênio e minerais. Além disso, devido à presença significativa de cálcio e de fósforo nos minerais ósseos, estes também apresentam valores de R mais elevados.

A atenuação diferenciada dos feixes de fótons nos tecidos orgânicos permite a construção de imagens da área de interesse, e, após tratamento matemático das informações, é possível estabelecer estimativas sobre a densidade e o conteúdo de mineral ósseo, o componente de gordura corporal e a massa isenta de gordura dos tecidos não-gordurosos.

Para a coleta das informações, o avaliado deverá posicionar-se em decúbito dorsal sobre a superfície do próprio aparelho, e sobre seu corpo o braço do scanner desliza, a uma distância de 80cm e de maneira retilínea. Realiza-se, então, o rastreamento desde a cabeça até os pés. O detector capta as informações associadas à atenuação dos feixes de fótons, pós-passagem através do corpo do avaliado, e as envia para análise em micro-computador por meio de software específico.

Com relação aos equipamentos empregados em seus procedimentos, no momento existem três versões comerciais: *Hologic QDR* (Hologic, Inc.), *Lunar DPX* (Lunar Corporation) e *Norland XR* (Norland Company). Por apresentarem diferentes características em relação às configurações de *hardware* e *software*, as três versões de equipamentos tendem a demonstrar baixa reprodutibilidade de medida. Logo, sugere-se que comparações intravaliadores e interavaliadores sejam desenvolvidas com informações fornecidas por uma mesma versão de equipamento.

A principal vantagem dessa técnica está no fato de ser possível analisar a composição de todo o corpo e por segmentos (membros inferiores e superiores, tronco e cabeça) e oferecer, desse modo, informações sobre a distribuição anatômica dos diferentes compartimentos do peso corporal.

Além das limitações associadas ao alto custo financeiro do equipamento e ao tempo excessivamente longo para rastreamento de todo o corpo (aproximadamente 30 min), devem-se levar em conta a estatura, o peso corporal e a espessura transversa do corpo do avaliado. A superfície de apoio dos equipamentos apresenta dimensões próximas de 190 x 60cm, que dificultam seu uso em avaliados muito altos e/ou com peso corporal acima de 130kg. Com relação à espessura transversa do corpo do avaliado, evidências experimentais revelam que, quando esta excede a 20-25cm, os indicadores da composição corporal tendem a apresentar erros de estimativas mais elevados, se comparados com espessuras transversais menores que 20cm [9].

Chama-se a atenção, ainda, para a eventual interferência de variações da quantidade de água corporal apresentada pelo avaliado no momento de coleta das informações pela técnica de DEXA. Por essa técnica, para a análise das informações associadas à proporção de gordura corporal considera-se que a massa isenta de gordura dos tecidos não-ósseos contém fração fixa de água de cerca de 73,2%. Logo, erros de estimativas mais elevados podem ser esperados, caso o organismo do avaliado, no momento, apresente variações no que concerne à quantidade de água corporal a partir desse valor.

Procedimentos de análise da composição corporal

64



Figura 3.9 – Equipamento empregado na técnica de absorptometria radiológica de dupla energia (DEXA).

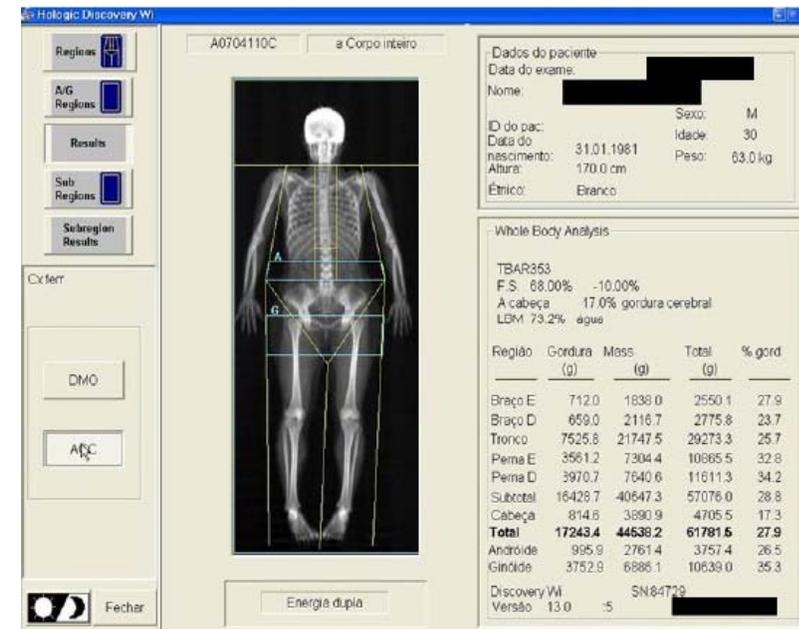


Figura 3.10 – Imagens obtidas pelo método de absorptometria radiológica de dupla energia (DEXA).

Procedimentos de análise da composição corporal

65

### Pesagem hidrostática

Os métodos empregados para análise da composição corporal mediante a técnica de densitometria baseiam-se no pressuposto de que a densidade de todo o corpo é estabelecida pelas densidades de vários componentes corporais e pela proporção com que cada um desses componentes contribui para o estabelecimento da massa corporal total. Portanto, admitindo-se que a densidade da gordura é consideravelmente menor que a densidade de outras estruturas do corpo, quanto maior a quantidade de gordura em proporção ao peso corporal, menor deverá ser a densidade de todo o corpo.

A utilização dos valores de densidade corporal como indicadores específicos para análise da composição corporal exige que se considerem algumas suposições teóricas [10]:

- (a) as densidades do componente de gordura e da massa magra são conhecidas e aditivas;

- (b) o indivíduo, ao ser submetido a técnica, é comparado a um *padrão de referência* apenas no que se refere à quantidade de gordura apresentada;
- (c) a proporção de cada um dos elementos que constitui o componente não-gorduroso, incluindo-se a água, os minerais e as proteínas, é relativamente constante de indivíduo para indivíduo de mesma idade; logo,
- (d) a densidade do componente não-gorduroso também é relativamente constante de um indivíduo para outro de mesma idade.

A densidade corporal, expressa em grama por milímetro (g/ml) ou grama por centímetro cúbico (g/cm<sup>3</sup>), representa a relação entre o peso corporal e o seu volume:

$$\text{Densidade corporal (g/ml)} = \frac{\text{Peso corporal (g)}}{\text{Volume corporal (ml)}}$$

As medidas equivalentes ao peso corporal são facilmente aferidas pelos inúmeros modelos de balanças antropométricas à disposição; portanto, a principal preocupação na determinação da densidade corporal refere-se às informações sobre o volume corporal. Historicamente, o método da pesagem hidrostática tem sido a opção mais empregada na identificação do volume corporal.

O método de pesagem hidrostática está alicerçado no princípio de que um corpo totalmente submerso na água sofre a ação de uma força contrária de sustentação, evidenciada por perda de peso igual ao peso da água deslocada. Desse modo, por esse método o indivíduo é submerso em um tanque com água, e o volume corporal é computado com base na diferença entre o peso corporal medido no ambiente ( $P_{\text{real}}$ ) e o peso corporal medido totalmente submerso na água ( $P_{\text{água}}$ ).



Figura 3.11 – Técnica de pesagem hidrostática para estimativas do volume corporal.

Em razão de eventuais variações de temperatura e impurezas da água pelo seu uso constante, aconselha-se ajustar a diferença das medidas do peso corporal ( $P_{\text{real}} - P_{\text{água}}$ ) pela densidade da água ( $D_{\text{água}}$ ):

$$\text{Volume corporal (ml)} = \frac{(P_{\text{real}} - P_{\text{água}})}{D_{\text{água}}}$$

A quantidade de ar dos pulmões e os gases presentes no aparelho gastrointestinal no momento da pesagem hidrostática são dois volumes extras que precisam ser corrigidos nos cálculos do volume corporal. Relativamente ao ar dos pulmões, o indivíduo ao ser submergido deverá procurar eliminar a maior quanti-

dade possível de ar dos pulmões, mediante expiração forçada. A correção é realizada pelo volume pulmonar residual, o ar que permanece nos pulmões após a expiração máxima. A medida do volume pulmonar residual pode ser realizada em separado da pesagem hidrostática pelo método de diluição de oxigênio ou hélio em circuito fechado. O volume dos gases presente no aparelho gastrointestinal não se pode medir; contudo, considera-se que seja consideravelmente menor que o volume pulmonar residual, ou seja, em valores próximos a 100ml.

Assim, partindo-se da fórmula convencional de densidade (peso/volume), estimativas da densidade corporal por intermédio da pesagem hidrostática passam a ser estabelecidas pela relação:

$$\text{Volume corporal (g/ml)} = \frac{P_{\text{real}}}{\frac{P_{\text{real}} - P_{\text{água}}}{D_{\text{água}}} - (VR + 100\text{ml})}$$

em que:

$P_{\text{real}}$ : peso com o corpo no ambiente, determinado em gramas;

$P_{\text{água}}$ : peso com o corpo totalmente submerso n'água, determinado em gramas;

$D_{\text{água}}$ : densidade da água na temperatura vigente;

VR: volume residual determinado em ml; e

100ml: constante equivalente ao volume dos gases gastrointestinais.

Apesar do método de pesagem hidrostática produzir medidas de densidade corporal muito precisas, é necessário levar em conta que somente indivíduos com razoável adaptação ao meio aquático podem ser submetidos aos seus procedimentos, o que limita enormemente sua utilização em análises rotineiras da composição corporal.

Uma vez estabelecida a medida de densidade corporal, sua conversão em proporções de gordura em relação ao peso corporal pode ser realizada com o uso de expressões matemáticas propostas com base em estudos que envolvem procedimentos diretos da composição corporal:

Siri <sup>[11]</sup>	Brozek et al. <sup>[12]</sup>
$\% \text{ gord} = \left( \frac{4,95}{\text{Dens}} - 4,50 \right) 100$	$\% \text{ gord} = \left( \frac{4,57}{\text{Dens}} - 4,142 \right) 100$
<b>% gord : Proporção de gordura em relação ao peso corporal; e Dens : Densidade corporal expressa em g/ml.</b>	

Ao analisarem-se ambas as propostas direcionadas à conversão das medidas de densidade corporal em proporções de gordura em relação ao peso corporal, verifica-se que Siri admitiu que a gordura a 37 C de temperatura corporal apresenta densidade constante de 0,9000g/ml, enquanto a expressão idealizada pela equipe de Brozek considerou uma densidade para a gordura de 0,9007g/ml a mesma temperatura. Contudo, para medidas de densidade corporal entre 1,030 e 1,090g/ml, as diferenças encontradas nos cálculos da gordura relativa ao peso corporal, por essas duas expressões matemáticas, são desprezíveis, ou seja, na ordem de 0,1% a 0,4%. Portanto, nesse caso, é indiferente empregar uma ou outra expressão.

### Pletismografia

A técnica de pletismografia utiliza o deslocamento do ar, em vez da perda de peso n'água, para medir o volume corporal, e, assim, dispensa a necessidade de submergir o indivíduo. Seus procedimentos baseiam-se na aplicação da lei de deslocamento de ar de Boyle: em um recipiente fechado de temperatura constante, o volume (V) e a pressão (P) variam em proporção inversa – enquanto o volume aumenta, a pressão diminui, e vice-versa:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

em que  $P_1$  e  $V_1$  representam uma primeira condição emparelhada de pressão e de volume e  $P_2$  e  $V_2$  representam uma segunda condição.

Por esse raciocínio, ao introduzir-se o indivíduo em uma câmara fechada e isolada do meio exterior em condições isotérmicas, com a pressão ( $P_1$ ) e o volume ( $V_1$ ) de ar em seu interior previamente conhecidos, a quantidade de ar comprimida em razão do espaço ocupado por sua massa corporal deverá diminuir o volume de ar existente na câmara em proporção idêntica ao aumento da pressão interna. Ao se determinar a nova pressão interna ( $P_2$ ) com o indivíduo dentro da câmara, é possível quantificar o volume ( $V_2$ ) do ar em seu interior mediante equacionamento da relação  $P_1V_1=P_2V_2$ . Por subtração de ambos os volumes de ar no interior da câmara ( $V_1$  e  $V_2$ ), corrigidos pelo ar dos pulmões computado automaticamente por sistema de análise respiratória acoplada ao indivíduo, determina-se o volume corporal [13].

Essa técnica requer aparelhagem mais complexa e sofisticada que a pesagem hidrostática, porém elimina o desconforto da submersão n'água e exige um mínimo de cooperação do indivíduo. O modelo de câmara ple-tismográfica mais utilizado atualmente é o *BOD POD® – Body Composition System*. Esse modelo, construído de fibra de vidro, contém uma janela de acrílico, com assento em seu interior para o indivíduo se acomodar e uma porta com dispositivos eletromagnéticos para seu fechamento. O volume no interior da câmara é de aproximadamente 450L e permite um confortável ambiente para o indivíduo. A câmara é conectada a um micro-computador que, por intermédio de software específico, determina as variações de volume do ar e da pressão em seu interior, quando desocupada e com o indivíduo, e variáveis pulmonares necessárias às estimativas do volume corporal.



Figura 3.12 – Câmara ple-tismográfica para estimativas do volume corporal.

## Procedimentos clínicos

Os procedimentos laboratoriais, embora mais rigorosos e precisos, são dispendiosos e de limitada aplicação prática, razão por que são empregados com maior frequência em investigações científicas e na validação dos procedimentos clínicos. Esses, por sua vez, são menos rigorosos, menos dispendiosos e de maior aplicação prática. Apesar de sua menor rigorosidade, as informações obtidas com a sua aplicação apresentam elevada relação com os recursos laboratoriais e, se tomados determinados cuidados, podem produzir erros de estimativa em limites aceitáveis.

No que se refere às técnicas empregadas nos procedimentos clínicos, a condutibilidade elétrica corporal total, a interatância de raios infravermelhos, a bioimpedância elétrica e a antropometria são, no momento, os recursos disponíveis. No entanto, a bioimpedância elétrica e a antropometria têm sido os recursos mais comumente empregados. Por essa razão, para atender o escopo desta publicação, ambas as técnicas deverão ser tratadas mais detalhadamente nos dois capítulos subsequentes. Protocolos associados à condutibilidade

elétrica corporal total e à interactância de raios infravermelhos devem ser utilizados somente em casos excepcionais caracterizados por alguma particularidade.

### **Condutividade elétrica corporal total**

Do original *Total Body Electrical Conductivity – Tobec*, a utilização dos procedimentos dessa técnica para análise da composição corporal baseia-se nos diferentes níveis de condutibilidade elétrica dos tecidos biológicos. Em idêntica frequência de corrente elétrica e a uma mesma temperatura corporal, aqueles tecidos com alta concentração de água e de eletrólitos, representados pela massa isenta de gordura, deverão apresentar elevada capacidade de condução da corrente elétrica, enquanto os chamados tecidos secos, representados, sobretudo, pelo conteúdo de gordura corporal, são altamente resistentes à passagem da corrente elétrica. Portanto, os níveis de condutibilidade elétrica de todo o corpo deverão ser diretamente proporcionais ao perfil de fracionamento do peso corporal nos componentes de gordura e de massa isenta de gordura <sup>[14]</sup>.

Para estabelecer os níveis de condutibilidade elétrica corporal pela técnica *Tobec* utiliza-se um cilindro com campo eletromagnético capaz de estabelecer frequências de corrente elétrica entre 2,5 e 5mHz. O indivíduo é colocado no interior do cilindro e todo o seu corpo é submetido à corrente elétrica. As informações sobre a condutibilidade elétrica dos tecidos biológicos são obtidas e analisadas pelo próprio equipamento de medida e oferecem indicações sobre a quantidade de água corporal total.

Os procedimentos de medida, conforme essa técnica, são simples e de fácil execução; contudo, a principal desvantagem desse método são o elevado custo financeiro do equipamento e a infraestrutura física necessária para atender a seu protocolo.

### **Interactância de raios infravermelhos**

Essa técnica baseia-se em características específicas dos tecidos orgânicos no que se refere à absorção

de radiação infravermelha. Portanto, considerando-se os coeficientes de absorção pré-estabelecidos para diferentes tecidos orgânicos e recorrendo-se ao princípio da espectrografia, torna-se possível estimar as quantidades de gordura e de água em diferentes regiões do corpo.

O equipamento utilizado para aplicação dessa técnica (espectrômetro eletromagnético portátil) deverá ser posicionado na superfície da pele da região corporal a ser avaliada. Geralmente, em razão da facilidade de manuseio, opta-se por realizar a medida na linha média anterior acima do ventre muscular do bíceps do braço dominante. O espectrômetro consiste de um emissor composto por sonda de fibra óptica, que deverá emitir raios infravermelhos, e de um detector óptico que mede a reflexão ou a absorção da onda luminosa pelos tecidos orgânicos. O modelo de espectrômetro portátil mais utilizado atualmente é o *Futrex 6100/XL*®. Chama-se atenção para a necessidade de constante calibração do equipamento diante de material de características conhecidas quanto à emissão e à absorção de raios infravermelhos.

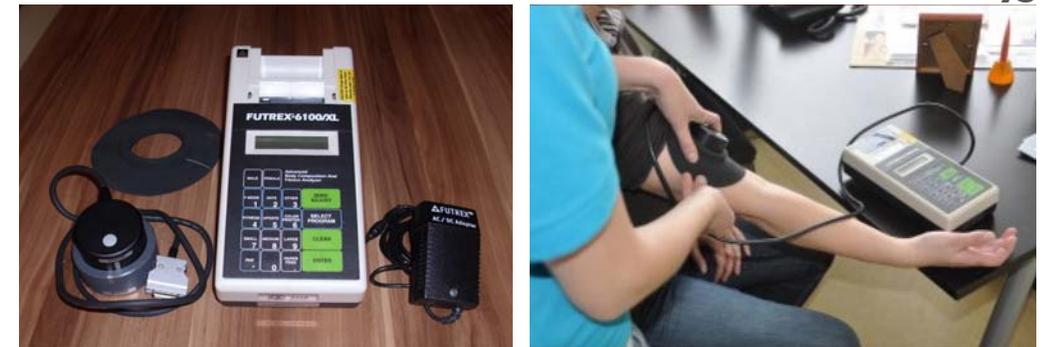


Figura 3.13 – Espectrômetro portátil para emissão de ondas de raios infravermelhos.

Com relação ao seu princípio metodológico, considera-se que o componente de gordura absorve ondas de raios infravermelhos de comprimento próximo de 930nm ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$ ), que o componente de água o faz a 970nm; e que os coeficientes logarítmicos de absorção variam linearmente em relação à concentração de ambos os componentes <sup>[15]</sup>. Desse modo, recorrendo-se aos conceitos associados aos modelos de regressão estatística e tendo-se sob controle as informações que possam

interferir na absorção dos tecidos (sexo, etnia, estatura e peso corporal), mediante um microcomputador embutido no próprio aparelho, torna-se possível estabelecer estimativas sobre a proporção de gordura corporal do indivíduo e de sua massa isenta de gordura.

A interatância de raios infravermelhos é um método seguro, rápido e de fácil manuseio; porém, mesmo considerando todas as suas vantagens práticas, convém destacar que seus pressupostos assumem que a composição do local irradiado é fortemente relacionada à do corpo inteiro, o que, em algumas circunstâncias, não procede.

## Referências

1. Matiegka J. *The testing of physical efficiency*. *Am J Phys Anthropol* 1921; 4:223-30.
2. Clarys JP; Martin AD; Drinkwater DT. *The skinfolds: myth and reality*. *Journal of Sports Sciences*, v.5, p.3-33, 1987.
3. Schoeller DA. *Hydrometry*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.25-43.
4. Lukaski HC. *Methods for the assesment of human body composition: traditional and new*. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.46, p.537-56, 1987.
5. Ellis KJ. *Whole-body counting and neutron activation analysis*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.45-61.
6. Lukaski HC. *Methods for the assesment of human body composition: traditional and new*. *American Journal of Clinical Nutrition*, v.46, p.537-56, 1987.
7. Roche AF. *Anthropometry and ultrasound*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.167-89.
8. Després JP; Ross R; Lemieux S. *Imaging techniques to the measurement of human body composition*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.149-66.
9. Lohman TG. *Dual energy X-ray absorptiometry*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.63-78.
10. Going SB. *Densitometry*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.3-23.
11. Siri WE. *Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods*. In: Brozek J, Henschel A (Eds.) *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, National Academy of Science, 1961, p. 223-44.
12. Brozek J; Grande F; Anderson JT; Keys A. *Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.110, p.113-40, 1963.
13. Dempster P; Aitkens S. *A new air displacement method for the determination of human body composition*. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.27, p.1692-7, 1995.
14. Baumgartner RN. *Electrical impedance and total body electrical conductivity*. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) *Human Body Composition*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.79-107.
15. Ellis KJ. *Human body composition: in vivo methods*. *American Physiological Society*, v.80, p.649-80, 2000.

# CAPÍTULO 4

## Técnica de Bioimpedância

Procedimentos de  
análise da composição  
corporal

**76**

A oposição oferecida por um circuito elétrico a uma corrente alternada é denominada de impedância (Z). No caso das estruturas biológicas, a impedância é composta de três elementos:

- (a) a resistência (R), apresentada pelos próprios tecidos à condução da corrente elétrica;
- (b) a reactância (Xc) ou oposição adicional, causada pela capacidade de isolamento à passagem da corrente elétrica apresentada pelas membranas celulares e pelos tecidos não-iônicos; e
- (a) o ângulo de fase ( $\Phi$ ) equivalente à relação geométrica entre a resistência e a reactância em circuitos elétricos em série ou em paralelo.

A técnica de bioimpedância elétrica produz informações sobre a impedância que o corpo humano oferece à condução de uma corrente elétrica, expressa pela relação:

$$Z = R^2 + Xc^2$$

O princípio básico do método de bioimpedância elétrica voltada à análise da composição corporal baseia-se nos diferentes níveis de condutibilidade elétrica dos tecidos biológicos expostos a várias frequências de corrente e é, portanto, muito semelhante ao empregado no método da condutividade elétrica corporal total. Nesse caso, pode-se comparar o corpo humano a um circuito elétrico composto por uma resistência (água e massa isenta de gordura) em série com um condensador (membranas celulares e gordura). Os fluidos intracelulares e extracelulares comportam-se como condutores, enquanto as membranas celulares (formadas por duplo estrato lipídico não-condutor intercalado entre duas capas moleculares de material protéico condutor) atuam como elementos capacitantes ou condensadores. Dessa forma, com informações a respeito da impedância elétrica ou de algum de seus parâmetros, podem-se estimar a quantidade de água corporal, e, admitindo-se valores constantes, a proporção de massa isenta de gordura e de gordura corporal <sup>[1]</sup>.

Uma das críticas que se fazem à técnica de bioimpedância elétrica é a de que esse princípio considera o corpo humano como um condutor cilíndrico perfeito, o que parece não ser verdade. No entanto, vários estudos de validação têm sido conduzidos com seus procedimentos e têm sido encontradas boas correlações com os métodos de referência [2-4].

A primeira tentativa de demonstrar a relação entre medidas de impedância e quantidade de água corporal provém do início da década de 1960 [5]. Porém, foi somente em meados dos anos 1980s que os primeiros equipamentos voltados à análise da BIA no campo clínico foram idealizados [6]. A princípio, os critérios de validação dos indicadores de composição corporal apresentados por esses equipamentos foram a densidade corporal e a quantidade de água corporal com base em modelos bicompartimentais. Contudo, mais recentemente se têm encontrado indicações de validação bastante promissoras em sujeitos entre 12 e 90 anos mediante modelos tetracompartimentais [7].

## Protocolo de medida

Informações equivalentes à resistência e à reactância mediante a BIA podem ser obtidas por intermédio de equipamento denominado ohmímetro, preferencialmente com dois pares de eletrodos emissores e receptores (técnica tetrapolar). Ohmímetros com apenas um par de eletrodos (emissor e receptor – técnica bipolar) tendem a elevar os erros de leitura e, se possível, devem ser evitados [8].

O protocolo de medida da técnica tetrapolar consiste na fixação dos eletrodos emissores distalmente na superfície dorsal da mão e do pé, no plano da cabeça do terceiro metacarpo e do terceiro metatarso, respectivamente. Por sua vez, os eletrodos receptores são colocados proximalmente também na mão e no pé, o primeiro no pulso, em um plano imaginário de união das duas apófises estilóides, e o segundo na região dorsal da articulação da tibiotársica, na linha imaginária de união da parte mais saliente dos dois maléolos (Figura 4.1).



Figura 4.1 – Fixação dos eletrodos emissores e receptores equivalentes à técnica tetrapolar de bioimpedância elétrica horizontal.

Por convenção, os quatro eletrodos devem ser colocados na mão e no pé direitos, estando o indivíduo na posição de decúbito supino, para que venham a ser minimizados os efeitos da gravidade na tendência de estagnação da água corporal nas extremidades inferiores quando em posição bípede. Esse protocolo de medida também é denominado de técnica de BIA horizontal [8] (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Análise da composição corporal pela técnica da bioimpedância elétrica horizontal.

Por intermédio dos dois eletrodos emissores é aplicada uma corrente alternada de baixa intensidade (entre 500 e 800mA), que utilizará os fluidos celulares como condutores e as membranas celulares como condensadores. A diferença de corrente causada pela impedância é posteriormente detectada pelos dois eletrodos receptores. O analisador mede a resistência e a reactância produzidas e projeta os valores de impedância. Conhecido o comprimento do condutor (estatura) e da impedância a essa corrente elétrica, calcula-se o volume do condutor.

Ao admitir-se que a massa livre de gordura contém grande parte da água e dos eletrólitos do organismo e é, portanto, o principal responsável pelo nível de condução da corrente elétrica, estima-se o componente da massa livre de gordura e, posteriormente, com base no peso corporal, o componente de gordura <sup>[8]</sup>.

## Tipos de Ohmímetros

Os ohmímetros direcionados à análise dos indicadores de BIA podem emitir corrente de frequência única (monofrequência) ou de diferentes frequências (multifrequência). Todos os ohmímetros de monofrequência normalmente operam à frequência de 50 kHz, com eletrodos dispostos na mão e no pé em técnica tetrapolar e, em técnica bipolar, no pé esquerdo-pé direito ou mão esquerda-mão direita. Na frequência de 50 kHz a impedância se apresenta diretamente proporcional à quantidade total de água corporal e permite, na sequência, estabelecer estimativas da massa livre de gordura. Porém, não permite determinar, nem diferenciar as frações intracelulares e extracelulares do componente de água <sup>[9]</sup>. Em contrapartida, os ohmímetros de multifrequência utilizam modelos empíricos de regressão linear em diferentes frequências, como 0, 1, 5, 50, 100, 200 e 500 kHz, para estimar a quantidade total de água corporal, as frações intracelulares e extracelulares, e, por derivação, a massa livre de gordura <sup>[10]</sup>.

Mais recentemente, com o avanço tecnológico na fabricação dos equipamentos empregados na técnica de BIA, tem sido sugerida a utilização de frequências superiores a 500kHz. Em alguns casos, propõem-se frequências espectrais de até 1300kHz <sup>[8]</sup>. A vantagem de aplicar correntes elétricas com frequências mais elevadas reside na possibilidade de estimar frações intra- e extracelulares do componente de água com maior precisão. No entanto, valores de impedância encontrados nesses casos e estimativas da quantidade total de água corporal são muito similares aos produzidos a 50kHz <sup>[11]</sup>.

Com relação aos modelos de ohmímetros empregados para a análise da composição corporal pela técnica tetrapolar de BIA, as versões comerciais mais comumen-

te empregadas são *RJL Bia*<sup>®</sup> (RJL Systems, Inc.), *Xitron*<sup>®</sup> (Xitron Technologies, Inc.) e *Biodynamics*<sup>®</sup> (Biodynamics Inc.) – Figura 4.3. No entanto, não é incomum deparar-se com equipamentos alternativos extremamente mais simples e de menor custo financeiro que envolvem técnica bipolar. Dois exemplos dessa linha de equipamento são as versões comerciais *Tanita*<sup>®</sup> (Tanita Corporation) e *Omron*<sup>®</sup> (Omron Corporation) – Figura 4.4.



Figura 4.3 – Equipamentos para análise da composição corporal pela técnica tetrapolar de bioimpedância elétrica.



Figura 4.4 – Equipamentos para análise da composição corporal pela técnica bipolar de bioimpedância elétrica.

O equipamento *Tanita*<sup>®</sup> consiste de uma espécie de balança que contém em sua plataforma eletrodos para emissão e recepção da corrente elétrica. O indivíduo coloca-se em pé sobre sua plataforma e permanece nessa posição por alguns segundos. A corrente elétrica deverá percorrer os membros inferiores e a região do abdome e fornecer de imediato, pelo próprio equipamento, estimativas da quantidade de gordura em proporção ao peso corporal do indivíduo. Caso se opte pelo equipamento *Omron*<sup>®</sup>, o indivíduo deverá segurar o aparelho com os

braços estendidos à frente, formando um ângulo de 90 com o tronco, com ambas as mãos sobre os elétrodos, para que a corrente elétrica possa percorrer os membros superiores e a região superior do tronco – Figura 4.5.



Figura 4.5 – Análise da composição corporal pela técnica bipolar de bioimpedância elétrica.

Em ambos os protocolos alternativos não são apresentadas informações sobre a resistência e a reactância, o que induz a prováveis vies de estimativa. Além disso, nos dois casos o indivíduo deverá posicionar-se em pé para a realização das medidas, acarretando isso importante limitação<sup>[8]</sup>, razão por que esse procedimento recebe a denominação de técnica de BIA vertical. Quando comparadas as estimativas associadas à quantidade de gordura em proporção ao peso corporal, verifica-se que as diferenças entre os dois protocolos de medida de BIA (horizontal e vertical) são relevantes e significativas estatisticamente<sup>[12]</sup>.

Em geral, tendo como referência os procedimentos laboratoriais, a técnica de BIA vertical tende a subestimar os valores de massa livre de gordura em comparação com a técnica de BIA horizontal<sup>[12]</sup>. Assim sendo, mesmo que se considerem seu baixo custo, a facilidade de operação e a portabilidade, a técnica de BIA vertical deve ser utilizada com alguma cautela e, se possível, deve ser evitada.



## Aspectos Metodológicos

Apesar da relativa facilidade e rapidez da medida, a utilização da técnica de BIA requer que o indivíduo atenda a um conjunto de procedimentos prévios, sem os quais poderão ocorrer prejuízos à qualidade das informações obtidas<sup>[8,13]</sup>:

- não ter feito uso de medicamentos diuréticos nos últimos 7 dias;
- manter-se em jejum por pelo menos 4h;
- não ter ingerido bebidas alcoólicas nas últimas 48h;
- ter-se absterido da prática de exercício físico intenso nas últimas 24h;
- urinar pelo menos 30min antes da medida; e
- manter-se pelo menos 8-10min em repouso absoluto em posição supina antes de se efetuar a medida.

Além desses cuidados, deve-se atentar para a característica e calibração do equipamento, a posição do corpo, o nível de hidratação do indivíduo e ingestão de alimentos, a temperatura ambiente e cutânea porque tudo isso pode interferir na qualidade das medidas. A tabela 4.1 apresenta síntese de estudos disponibilizados na literatura que analisaram o impacto desses fatores na variação dos valores de resistência e, por consequência, de massa livre de gordura e gordura corporal.

Tabela 4.1 – Estudos que analisaram o impacto de diferentes situações na variação das medidas de massa livre de gordura (MLG) e massa de gordura (MG) mediante a técnica de bioimpedância elétrica.

Situação experimental	Variações nos valores de resistência	Impacto na MLG e MG	Referências
Uso de diferentes tipos de ohmímetros	± 21 WW	Alterações nos valores de MLG e MG	[9, 14]
Abdução das extremidades de 30° para 90°	↓ 12 WW	Redução em torno de 1,5% na MG	[15]
Troca dos eletrodos do lado direito para esquerdo	7-18 WW	Alterações nos valores de MLG e MG	[15]
Ingestão prévia de água (700 ml)	↑ 9 WW	Aumento de até 3% na MG	[15,16]
Ingestão de alimentos sólidos	-4 a 14 WW	Redução entre 8-10% na MG	[15,16]
Realização de exercício físico moderado	↓ 3%	Não se normaliza antes de 60 min	[17]
Após 60 min em decúbito supino	↑ 17 WW	Aumento em torno de 2% na MG	[17]
Diminuição da temperatura ambiente de 35° para 14° C	↑	Redução na MLG e aumentos na MG	[18]
Elevação da temperatura ambiente de 15° para 35° C	↓	Aumento na MG e reduções na MLG	[18]
Uso de anticoncepcional oral		Nenhum impacto significativo	[19]

Alterações significativas na condutibilidade da corrente elétrica também podem ocorrer em razão do uso de vestimentas mais pesadas e de peças de metal (brincos, relógios, pulseiras, anéis, etc.) [8]. Próximo à ovulação, as mulheres tendem a reter maior quantidade de líquidos. Ainda, medidas aferidas nas primeiras horas após o despertar tendem a assinalar mais elevada reprodutibilidade por causa das menores variações no metabolismo de repouso [13].

Quanto às restrições de uso da técnica de BIA, não se conhecem atualmente efeitos adversos, embora se deva levar em conta que seu uso pode afetar a atividade elétrica de marcapassos e desfibriladores, pelo que, nessas circunstâncias, deve ser evitada essa técnica [13]. Por outro lado, considerando-se que a técnica de BIA está relacionada às alterações da distribuição aquosa, como ocorre em algumas enfermidades graves, nesses casos seus pressupostos teóricos tornam-se inválidos [20].

Com relação às equações empregadas para estimativas da massa livre de gordura, em razão das variações biológicas existentes na proporção de água corporal em indivíduos de ambos os sexos e de diferentes idades, são idealizadas expressões específicas para cada sexo e grupo etário. A literatura disponibiliza inúmeras equações para essa finalidade; porém, a priori, não se aconselha utilizar essas equações em indivíduos, cujas características biológicas podem ser diferentes daquelas das quais foram derivadas. Nesse caso, é necessário levantar indicadores de validação previamente a sua utilização em populações específicas. Na Tabela 4.2 são apresentadas algumas das equações localizadas na literatura e que são mais utilizadas em adultos.

Tabela 4.2 – Equações para predição da massa isenta de gordura baseadas em informações apresentadas pela técnica de bioimpedância elétrica.

Idade (Anos)	Equação de regressão	Referência
	<b>Mulheres</b>	
20-40	$MIG = 0,475 (Estatura^2/Resistência) + 0,295 (Peso) + 5,49$	[21]
17-62	$MIG = 0,0011 (Estatura)^2 - 0,021 (Resistência) + 0,232 (Peso) - 0,068 (Idade) + 14,595$	[22]
	<b>Homens</b>	
20-40	$MIG = 0,485 (Estatura^2/resistência) + 0,338 (Peso) + 5,49$	[21]
17-62	$MIG = 0,0013 (Estatura)^2 - 0,044 (Resistência) + 0,305 (Peso) - 0,168 (Idade) + 22,668$	[22]

MIG = massa isenta de gordura em kg; estatura em cm; peso corporal em kg; resistência em ohms; idade em anos completos.

Ainda, aspecto importante a ser observado são as equações contidas no software que acompanha os diferentes equipamentos utilizados. Geralmente seus fabricantes apresentam uma única opção de equação de regressão em cada equipamento. Desse modo, na eventualidade de a equação preditiva, que acompanha o equipamento em uso, não ser de interesse do profissional ou do investigador, sugere-se ignorar as estimativas de massa livre de gordura e de gordura apresentadas e considerar apenas as informações equivalentes à resistência (R) e/ou à impedância (Z). Assim, com equações selecionadas pelo próprio profissional ou investigador, torna-se possível estabelecer estimativas sobre a massa livre de gordura e, posteriormente, a gordura corporal, por intermédio de qualquer modelo de regressão disponível na literatura e que se julgar conveniente para aquela situação específica.

Com o objetivo de exemplificar a sequência de cálculo para estabelecer estimativas sobre os indicadores de composição corporal pela técnica de BIA, suponha-se um homem, com 43 anos de idade, 175,8cm de estatura e 78,8kg de peso corporal. Por intermédio do ohmímetro, registra-se resistência à condução da corrente elétrica nos tecidos biológicos de 412,7 ohms. Com base no modelo matemático preconizado por Segal et al. [22], encontra-se:

$$\begin{aligned}
 MIG &= 0,0013 (Estatura)^2 - 0,044 (Resistência) + 0,305 (Peso) - 0,168 (Idade) + 22,668 \\
 &= 0,0013 (175,8cm)^2 - 0,044 (412,7ohms) + 0,305 (78,8kg) - 0,168 (43 anos) + 22,668 \\
 &= 40,177 - 18,159 + 24,034 - 7,224 + 22,668 \\
 &= 61,5kg \\
 \text{Gordura}_{\text{absoluta}} \text{ (kg)} &= \text{Peso corporal} - MIG \\
 &= 78,8kg - 61,5kg \\
 &= 17,3kg \\
 \text{Gordura relativa ao peso corporal (\%)} &= \left( \frac{\text{Gordura}_{\text{absoluta}}}{\text{Peso corporal}} \right) \times 100 \\
 &= \left( \frac{17,3kg}{78,8kg} \right) \times 100 \\
 &= 21,95
 \end{aligned}$$

## Referências

- Baumgartner RN. Electrical impedance and total body electrical conductivity. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (Eds.) Human Body Composition. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1996, p.79-107.
- Sun G, French CR, Martin GR, Youngusband B, Green RC, Xie Y, Mathews M, Barron JR, Fitzpatrick DG, Gulliver W, Zhang H. Comparison of multifrequency bioelectrical impedance analysis with dual-energy X-ray absorptiometry for assessment of percentage body fat in a large healthy population. Am J Clin Nutr 2005; 81:74-8.
- Pateyjohns IR; Brinkworth GD; Buckley JD; Noakes M; Clifton PM. Comparison of three bioelectrical impedance methods with DXA in overweight and obese men. Obesity (Silver Spring) 2006; 14:2064-70.
- Deurenberg P; Van der Kooy K; Leenen R. Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bio-electrical impedance: a cross-validation study. Int J Obes 1991; 15:17-25.
- Hoffer E, Meador C, Simpson D. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. J Appl Physiol 1969; 27:531-4.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. J Appl Physiol 1986; 60:1327-32.
- Sun SS; Chumlea WC; Heymsfield SB; Lukaski HC; Schoeller D; Friedl K; et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. Am J Clin Nutr 2003; 77:331-40.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, Deurenberg P, Elia M, Gómez JM, et al. Bioelectrical impedance analysis--Part I: review of principles and methods. Clin Nutr 2004; 23:1226-43.
- Kyle UG, Genton L, Karsegard L, Slosman DO, Pichard C. Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20-94 years. Nutrition 2001; 17:248-53.
- Hannan WJ, Cowen SJ, Fearon KC, Plester CE, Falconer JS, Richardson RA. Evaluation of multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. Clin Sci 1994; 86:479-85.

11. Hannan WJ, Cowen SJ, Plester CE, Fearon KC, De Beau A. Comparison of bio-impedance spectroscopy and multi-frequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients. *Clin Sci* 1995; 89:651-8.
12. Dittmar M. Comparison of bipolar and tetrapolar impedance techniques for assessing fat mass. *Am J Hum Biol* 2004; 16:593-7.
13. Ellis KJ; Bell SJ; Chertow GM; Chumlea WC; Knox TA; Kotler DP; et al. Bioelectric impedance methods in clinical research: a follow-up to the NIH Technology Assessment Conference. *Nutrition* 1999; 15:874-80.
14. Deurenberg P, Van der Kooy K, Leenen R. Differences in body impedance when measured with different instruments *Eur J Clin Nutr* 1989; 43:885-6.
15. Kushner RF, Gudivaka R, Schoeller DA. Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *Am J Clin Nutr* 1996; 64:S423-7.
16. Heitmann B. Impedance: a valid method in assessment of body composition. *Eur J Clin Nutr* 1994; 48:228-40.
17. Roos AN, Westendorp RG, Frölich M, Meinders AE. Tetrapolar body impedance is influenced by posture and plasma sodium concentration. *Eur J Clin Nutr* 1992; 46:53-60.
18. Buono MJ; Burke S; Endemann S; Graham H; Gressard C; Griswold L; et al. The effect of ambient air temperature on whole-body bioelectrical impedance. *Physiol Meas* 2004; 25:119-23.
19. Machado RB, Tachotti F, Cavenague G, Maia E. Effects of two different oral contraceptives on total body water: a randomized study. *Contraception* 2006; 73:344-7.
20. O'Brien C, Young AJ, Sawka MM. Bioelectrical impedance to estimate changes in hydration status. *Int J Sports Med* 2002; 23:361-6.
21. Lohman TG. *Advances in Body Composition Assessment*. Champaign, Illinois, Human Kinetics, 1992.
22. Segal KR; Van Loan M; Fitzgerald PJ; Hodgdon JA; Van Itallie TB. Lean body mass estimated by bioelectrical impedance analysis: a four site cross validation study. *Am J Clin Nutr* 1988; 47:7-14.

# CAPÍTULO 5

## Técnica Antropométrica

A técnica de BIA oferece estimativas suficientemente precisas sobre os componentes de massa livre de gordura e gordura corporal e se torna, portanto, a primeira opção para a análise da composição corporal mediante procedimentos clínicos. No entanto, muitas vezes, em razão do custo do equipamento, da relativa sofisticação metodológica e das dificuldades em envolver os avaliados no protocolo de medida, sua utilização pode ficar limitada. Nesse sentido, pela simplicidade de sua utilização e inocuidade, pela relativa facilidade de interpretação e pelas menores restrições culturais e, ainda, por se tratar de medidas externas das dimensões corporais, elegeram-se a técnica antropométrica como a de maior aplicabilidade e esta sendo encorajada uma quantidade cada vez maior de profissionais a recorrer aos seus protocolos.

Em análise da composição corporal que envolve dois compartimentos (gordura corporal e massa livre de gordura), a medida de espessura das dobras cutâneas é o indicador antropométrico mais comumente utilizado <sup>[1]</sup>, enquanto em abordagens multicompartimentais devem ser incluídas também informações sobre medidas de perímetros e diâmetros ósseos <sup>[2-4]</sup>. No entanto, a proposta mais simples de análise da composição corporal com a participação de dimensões antropométricas é a construção de índices que envolvem medidas equivalentes ao peso corporal e à estatura.

## Índices das medidas de peso corporal e estatura

Esses índices são definidos pela medida equivalente ao peso corporal dividido por alguma potência da medida de estatura (peso corporal/estatura<sup>p</sup>). A função exponencial  $p$  é estabelecida com a finalidade de fornecer correlações máximas entre a quantidade de gordura corporal e a ocorrência de excesso de peso corporal. O índice *peso corporal/estatura* mais empregado na área da composição corporal é traduzido por valor de  $p = 2$ , que resulta no que se denomina de índice de massa cor-

poral (IMC), ou originalmente estabelecido como índice de Quetelet (peso corporal expresso em kg dividido pela estatura em m<sup>2</sup>).

$$\text{IMC (kg/m}^2\text{)} = \frac{\text{Peso corporal (kg)}}{\text{Estatura (m}^2\text{)}}$$

Embora o cálculo de IMC possa ser simples, sua interpretação apresenta algumas dificuldades. Pontos de corte como referencial de sobrepeso têm sido estabelecidos de maneira arbitrária e suscitam, vez por outra, polêmicas entre os especialistas da área. Experimentalmente verificou-se que, em homens adultos, IMC = 30 kg/m<sup>2</sup> implica proporções de gordura por volta de 30% do peso corporal aos 20 anos e 40% aos 60 anos de idade. Em mulheres de 20 e 60 anos, esses valores corresponderam a 40% e 50%, respectivamente [5]. Portanto, IMC > 30 kg/m<sup>2</sup> deverá estar associado a uma quantidade excessiva de gordura corporal, exceto no caso de atletas de algumas modalidades esportivas.

Baseando-se nessas evidências, órgãos de prevenção e tratamento do excesso de peso corporal advogam, para ambos os sexos, valores desejados de 19-24kg/m<sup>2</sup> para indivíduos entre 19 e 24 anos de idade, e 20-25kg/m<sup>2</sup> para aqueles que se encontram entre 25 e 34 anos. Depois, os limites desejáveis devem-se elevar ligeiramente com a idade nas mulheres; porém, não nos homens [6] – Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Limites desejáveis do índice de massa corporal de acordo com o sexo e a idade.

Grupo etário (anos)	Índice de massa corporal (kg/m <sup>2</sup> )	
	Mulheres	Homens
19 – 24	19 - 24	19 - 24
25 - 34	20 - 25	20 - 25
35 - 44	21 - 26	20 - 25
45 - 54	22 - 27	20 - 25
55 - 64	23 - 28	20 - 25
> 65	24 - 29	20 - 25

Valores de IMC acima desses limites deverão elevar os riscos para a saúde em consequência de peso corporal mais elevado, e, portanto, deverão refletir situação de sobrepeso. Da mesma forma, valores de IMC abaixo desses limites deverão elevar os riscos para a saúde em consequência do menor peso corporal, que reflete provavelmente condições de subnutrição.

Ainda que, no âmbito epidemiológico, se utilizem os valores de IMC como importante indicador de composição corporal, sua interpretação no contexto individual deve ser feita com alguma cautela. Nessa perspectiva, chama-se atenção para o fato de que os valores de IMC são, na realidade, uma manipulação matemática das medidas de peso corporal e de estatura, baseada no pressuposto de que toda medida de peso corporal que excede aos indicadores de referência deverá oferecer indicações do excesso de gordura corporal.

Nesse particular, deve-se admitir que o maior acúmulo de gordura corporal frequentemente induz a um aumento nas medidas de peso corporal e, consequentemente, nos valores do IMC, o que justifica o fato de muitos sujeitos com peso corporal acima dos indicadores referenciais apresentarem também excesso de gordura corporal. Contudo, pode ser que o peso corporal excessivo não reflita a condição de maior acúmulo de gordura corporal, considerando-se que essa maior medida de peso corporal pode ser em consequência de elevada massa isenta de gordura e não do componente de gordura corporal.

Portanto, parece ser possível que o excesso de gordura corporal ocasione sobrepeso; porém, o inverso pode não ser verdadeiro, admitindo-se que o aumento de peso corporal pode não traduzir necessariamente uma elevação da quantidade de gordura corporal [7]. Nesses casos, para verificar se o indivíduo apresenta sobrepeso acompanhado de excesso de gordura ou se apresenta sobrepeso apenas em decorrência de um maior desenvolvimento da massa isenta de gordura, é preciso recorrer a outros procedimentos antropométricos.

cos que permitam estabelecer estimativas das frações de gordura e de massa isenta de gordura ou massa magra.

Contudo, se, por um lado, se tem apontado a precária associação entre os valores de IMC e os indicadores da quantidade de gordura corporal em sujeitos não-obesos, por outro, em sujeitos com quantidade de gordura corporal, consideravelmente maior, verifica-se que o valor de IMC é uma informação altamente associada à gordura corporal [8]. Em vista disso, na falta de informações sobre a quantidade de gordura corporal, apesar de suas limitações metodológicas e conceituais, o profissional de saúde poderá utilizar o valor do IMC como indicador de composição corporal.

## Medidas de espessuras de dobras cutâneas

Informações equivalentes às medidas de espessura das dobras cutâneas, como procedimento de análise da composição corporal, estão alicerçadas na observação de que grande proporção da gordura corporal se encontra localizada no tecido subcutâneo, e, dessa forma, dimensões de sua espessura são utilizadas como indicador da quantidade de gordura localizada naquela região do corpo [1]. Estudos em cadáveres possibilitaram notar estreita relação estatística entre medidas de espessura de dobras cutâneas com o uso de compassos e medição direta da espessura do tecido subcutâneo por intermédio de incisão realizada no mesmo local onde se colocou o compasso [9,10].

Como a disposição da gordura localizada no tecido subcutâneo não se mostra de forma uniforme por todo o corpo, medidas de espessura de dobras cutâneas devem ser realizadas em várias regiões a fim de se obter visão mais clara sobre sua disposição. Em relação às estratégias de interpretação, as medidas de espessura de dobras cutâneas podem ser analisadas de duas formas. Uma delas é considerar as medidas de espessura das dobras cutâneas de diferentes regiões anatômicas sepa-

radamente, procurando-se oferecer informações sobre a distribuição relativa da gordura subcutânea de região para região do corpo. A segunda maneira é o seu uso em equações de regressão, com o propósito de prever valores equivalentes à densidade corporal e, posteriormente, aos de gordura em relação ao peso corporal.

A grande vantagem da utilização das medidas de espessura das dobras cutâneas reside no fato de que, além de se obterem informações sobre as estimativas da quantidade de gordura corporal, torna-se possível conhecer o padrão de distribuição do tecido adiposo subcutâneo pelas diferentes regiões anatômicas. Desse modo, considerando-se a existência de fortes evidências de que nem sempre todos os depósitos de tecido adiposo subcutâneo são semelhantes na plasticidade e na contribuição para o risco de saúde associado ao excesso de gordura corporal, o método de espessura das dobras cutâneas caracteriza-se como um dos procedimentos mais importantes na análise da composição corporal.

Por outro lado, deve-se ter presente que os valores de espessura de dobras cutâneas, apesar de serem razoavelmente válidos, sofrem interferências da participação de outros tecidos subcutâneos, resultando, portanto, apenas em valores aproximados, e não na quantidade efetiva de gordura subcutânea [9]. Somando-se a isso, ao realizar comparações entre medidas de espessura de dobras cutâneas, torna-se necessário assumir outras importantes limitações, como, por exemplo, a compressibilidade do tecido subcutâneo e a espessura da pele [10].

Ainda, a representatividade do conteúdo de gordura subcutânea em relação às medidas de espessura de dobras cutâneas apresenta elevada variabilidade individual e entre diferentes pontos anatômicos selecionados em um mesmo indivíduo [10]. Logo, duas medidas idênticas de espessuras de dobras cutâneas, em um mesmo indivíduo, podem significar diferentes depósitos de gordura subcutânea de acordo com o ponto anatômico considerado.

O nível de exatidão e de precisão das medidas de espessura das dobras cutâneas depende do tipo de compasso utilizado, da familiarização dos profissionais com as técnicas de medida e da perfeita identificação do ponto anatômico a ser medido. Com relação aos compassos, vários tipos têm sido advogados e utilizados; no entanto, os do tipo *Lange*<sup>®</sup> (Beta Technology Incorporated) e *Harpenden*<sup>®</sup> (British Indicators) são os que têm demonstrado maior precisão nas espessuras observadas e na consistência em repetidas medidas [11]. Um compasso de fabricação nacional, o do tipo *Cescorf*<sup>®</sup> (Cescorf Equipamentos Ltda.), com mecânica e *design* muito similares ao do tipo *Harpenden*<sup>®</sup>, também tem sido recomendado. Outras opções de compassos de fabricação nacional, os do tipo *Sanny*<sup>®</sup> (American Medical do Brasil Ltda) e *OpusMax*<sup>®</sup> (Terrazul Tecnologia), ainda merecem maiores estudos antes de serem recomendados para uso rotineiro – Figura 5.1.

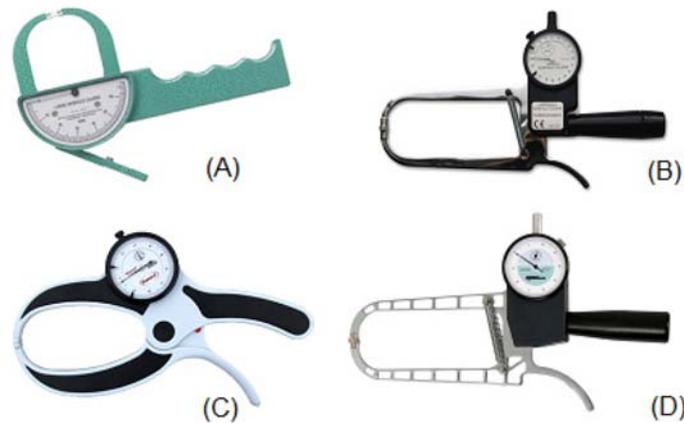


Figura 5.1 – Compassos específicos para medida de espessura de dobras cutâneas. (A) *Lange*<sup>®</sup>; (B) *Harpenden*<sup>®</sup>; (C) *Sanny*<sup>®</sup>; e (D) *OpusMax*<sup>®</sup>.

Apesar da qualidade das informações obtidas com o uso dos três compassos mais recomendados (*Lange*, *Harpenden* e *Cescorf*) devem-se levar em conta diferenças importantes nas características de cada um deles, o que ocasiona medidas de espessura de dobras cutâneas sistematicamente diferentes. Para abertura das hastes dos compassos entre 2 e 40 mm a pressão média

das molas é de 10g/mm<sup>2</sup>, com variação máxima de 2g/mm<sup>2</sup> nos três compassos. Contudo, a área de contato com a superfície da pele do compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup> é de 30mm<sup>2</sup> (5 x 6 mm), enquanto a dos compassos do tipo *Harpenden*<sup>®</sup> e *Cescorf*<sup>®</sup> é de 90mm<sup>2</sup> (6 x 15 mm). Assim, como o nível de compressibilidade dos compassos depende da relação entre sua área de contato com a superfície da pele e a pressão exercida por suas molas [12], maior área de contato sem alteração na pressão das molas deverá acarretar uma compressibilidade mais elevada dos compassos do tipo *Harpenden*<sup>®</sup> e *Cescorf*<sup>®</sup>.

Além disso, as mandíbulas significativamente menores do compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup> também deverão interferir na compressão das dobras cutâneas a serem medidas [12]. Dessa forma, embora, nos três tipos de compasso as molas possam apresentar características semelhantes de pressão pelas diferenças do *design*, o compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup> deverá apresentar menores dimensões para uma mesma espessura de dobra cutânea comparativamente com os compassos do tipo *Harpenden*<sup>®</sup> e *Cescorf*<sup>®</sup>. Evidências notadas em experimentos revelam que, para uma mesma espessura de dobra cutânea, o compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup> tende a assinalar medida mais elevada se comparada com a indicada pelo compasso do tipo *Harpenden*<sup>®</sup> [11].

As divergências na definição das medidas é mais um item a ser observado em eventuais comparações entre as medidas de espessura das dobras cutâneas aferidas com o uso do compasso *Lange*<sup>®</sup> em relação aos outros dois tipos de compassos. O compasso do tipo *Cescorf*<sup>®</sup> apresenta definição de medida de 0,1mm; o do tipo *Harpenden*<sup>®</sup>, de 0,2mm, com possibilidade de alcançar 0,1mm mediante interpolações na escala de medida; e o compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup>, de 1,0mm. Essas diferenças na definição de medida praticamente inviabilizam qualquer tentativa de comparação mais segura e efetiva entre as medidas de espessura das dobras cutâneas realizadas com o compasso do tipo *Lange*<sup>®</sup> e com os compassos dos tipos *Harpenden*<sup>®</sup> e *Cescorf*<sup>®</sup>.

Outro aspecto importante relacionado às medidas de espessura das dobras cutâneas é a familiarização dos profissionais com a técnica de medida. Nesse particular, um elemento básico a ser considerado é a influência das variações na reprodutibilidade intra e interavaliadores. Com relação à reprodutibilidade de medida intravaliador, observa-se que a magnitude de seus índices varia de acordo com a experiência do profissional com o protocolo adotado e da região a ser medida. Contudo, a quantidade de gordura do indivíduo permite que repetidas medidas, na mesma região e realizadas pelo mesmo profissional, concordem mais estreitamente entre dimensões menores que entre dimensões mais elevadas. Assim, a possibilidade de ocorrerem variações intravaliador deverá aumentar proporcionalmente às dimensões das medidas <sup>[13]</sup>.

Relativamente à determinação de índices aceitáveis para a reprodutibilidade intravaliador, existem algumas tentativas de se estabelecerem referenciais. Portanto, antes de iniciar com os procedimentos de medida de espessura das dobras cutâneas sugere-se que cada profissional ou investigador determine seu próprio índice de reprodutibilidade intravaliador para que se possam obter informações realmente confiáveis e úteis para futura análise da composição corporal.

Ao serem considerados os índices de reprodutibilidade interavaliadores, percebe-se que, em razão das medidas de espessura das dobras cutâneas serem realizadas em tecido mole, existe a possibilidade de cada profissional, individualmente, diferir quanto à exata localização e à definição dos pontos anatômicos a serem medidos. Conseqüentemente, seus índices podem alcançar até duas vezes mais que os de reprodutibilidade intravaliador <sup>[13]</sup>. Desse modo, somente com rigorosa observação das padronizações adotadas e com acentuado domínio do protocolo de medida será possível minimizar a possibilidade de ocorrência dessas variações.

No que diz respeito aos protocolos de medida de espessura das dobras cutâneas referentes à análise da

composição corporal, especialistas da área desenvolveram procedimentos padronizados que têm recebido grande aceitação entre os adeptos dessa técnica (Figura 5.2):

- (a) realizar as medidas sempre no hemicorpo direito do indivíduo;
- (b) identificar e marcar cuidadosamente com lápis dermatográfico o ponto anatômico correspondente à dobra cutânea;
- (c) definir o tecido celular subcutâneo das estruturas mais profundas por intermédio do polegar e do dedo indicador da mão esquerda;
- (d) destacar a dobra cutânea e colocar o polegar e o dedo indicador, separados por aproximadamente 8 cm entre si, sobre uma linha perpendicular ao eixo que acompanha a dobra da pele. Quanto mais espesso for o tecido subcutâneo, maior deverá ser a distância entre o polegar e o dedo indicador para destacar a dobra cutânea;
- (e) elevar a dobra cutânea por volta de 1 cm acima do ponto de medida;
- (f) manter a dobra cutânea elevada enquanto se estiver realizando a medida;
- (g) aplicar a borda superior do compasso perpendicular à dobra cutânea e a cerca de 1 cm abaixo do ponto exato de reparo;
- (h) soltar a pressão das hastes do compasso lentamente; e
- (i) aguardar por volta de 2-3 segundos e depois soltar a pressão das hastes do compasso para que a leitura da medida seja realizada.



Figura 5.2 – Ilustração de medidas de espessura de dobras cutâneas

Alguns outros cuidados devem ser tomados a fim de aprimorar a qualidade das medidas. A realização de uma série de três medidas no mesmo local, tomadas de forma alternada em relação às demais, é um procedimento interessante para minimizar os erros de medida. Na eventualidade de ocorrerem discrepâncias superiores a 5% entre as medidas de valores extremos no mesmo local, nova série de três medidas deverá ser realizada. Para efeito de cálculo, considera-se a dimensão da medida intermediária como valor adotado para cada ponto.

Não se aconselha realizar as medidas de espessura das dobras cutâneas imediatamente após a realização de esforço físico mais intenso. Nesses casos, o deslocamento de fluidos corporais em direção à pele, em consequência de adaptações biológicas resultantes do esforço físico realizado, tende a aumentar as espessuras das dobras cutâneas. Além disso, devem-se realizar as medidas sempre diretamente na pele do indivíduo, quando esta estiver seca e sem nenhum produto que possa ocasionar o deslizamento dos dedos do avaliador ou das bordas do compasso. Sempre que possível, deve-se evitar a utilização de compassos de plástico e procurar obter definição mínima de 0,1 mm, mesmo que esta seja alcançada por interpolação da escala original de medida <sup>[14]</sup>.

Relativamente à localização dos pontos anatômicos para realização das medidas de espessura das dobras cutâneas, estes variam conforme a equação preditiva utilizada para estimativa da quantidade de gordura corporal. Contudo, chama-se atenção para a necessidade de acompanhar rigorosamente a padronização proposta pelos autores da equação escolhida.

## Medidas de circunferências

O método antropométrico alternativo para análise da composição corporal consiste nas medidas de circunferências em regiões específicas do corpo. Em princípio, medidas de circunferência apresentam as mesmas vantagens de simplicidade, facilidade e aceitabilidade das espessuras de dobras cutâneas; contudo, tem sido demonstrada sua fragilidade como variável preditora da quantidade de gordura corporal em razão de suas dimensões incluírem outros tecidos e órgãos, além do tecido adiposo <sup>[4]</sup>.

Sugere-se a utilização das medidas de circunferências para análise da composição corporal em duas situações. Na primeira, quando o indivíduo apresentar quantidade de gordura corporal excessivamente elevada, o que faz as espessuras de dobras cutâneas ultrapassar o limite recomendável que possa assegurar medidas de boa qualidade (> 40 mm); na segunda, quando o objetivo é reunir informações direcionadas ao padrão de distribuição regional da gordura corporal <sup>[9]</sup>.

Certa preocupação relativamente ao padrão de distribuição regional da gordura corporal justifica-se pela estreita associação observada entre algumas complicações para a saúde decorrentes de disfunções cardiometabólicas e do maior acúmulo de gordura na região central do corpo, independentemente da idade e da quantidade total de gordura corporal <sup>[15]</sup>.

Conceitualmente, o maior acúmulo de gordura na região central do corpo, ou um padrão centrípeto de distribuição regional de gordura corporal, é caracterizado pela maior quantidade de gordura nas regiões do tronco, prin-

principalmente na cintura, e relativamente menor quantidade de gordura nas extremidades. Em contrapartida, o padrão periférico da distribuição de gordura corporal é definido pelo maior depósito de gordura nas extremidades, sobretudo nas regiões dos quadris, glútea e da coxa superior em comparação com o tronco.

A razão entre a circunferência da cintura e dos quadris vem sendo empregada frequentemente para verificar se a gordura corporal é reunida predominantemente na região central do corpo ou nas suas extremidades:

$$\text{Razão cintura/quadril} = \frac{\text{Circunferência de cintura (cm)}}{\text{Circunferência de quadril (cm)}}$$

Para realizar as medidas de circunferência é empregada fita antropométrica flexível que permita aplicar pressão constante sobre a superfície da pele durante toda a medição. A circunferência de cintura é determinada no plano horizontal, no ponto coincidente com a distância média entre a última costela e a crista-íliaca. A medida é obtida ao final de uma expiração normal, sem compressão da pele. A circunferência de quadril é também determinada no plano horizontal, no nível de maior protuberância posterior dos glúteos. Para realizar a medida de circunferência de cintura, o profissional deverá postar-se à frente do indivíduo, enquanto para a realização da medida de circunferência de quadril o profissional deverá colocar-se lateralmente ao indivíduo (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Medidas de circunferência de cintura (A) e quadril (B).

Sobre a interpretação dos valores encontrados na razão cintura/quadril, a literatura dispõe de indicadores referenciais que podem identificar a intensidade do risco predisponente ao aparecimento e ao desenvolvimento de disfunções cardiometabólicas de acordo com a idade e o sexo – tabela 5.2 [16].

Tabela 5.2 – Indicadores referenciais da razão cintura/quadril para identificar o risco para saúde de acordo com sexo e idade:

Idade (anos)	Magnitude de risco para saúde			
	Baixo	Moderado	Alto	Muito alto
<b>Mulheres</b>				
20 - 29	< 0,71	0,71 - 0,77	0,78 - 0,82	> 0,82
30 - 39	< 0,72	0,72 - 0,78	0,79 - 0,84	> 0,84
40 - 49	< 0,73	0,73 - 0,79	0,80 - 0,87	> 0,87
50 - 59	< 0,74	0,74 - 0,81	0,82 - 0,88	> 0,88
60 - 69	< 0,76	0,76 - 0,83	0,84 - 0,90	> 0,90
<b>Homens</b>				
20 - 29	< 0,83	0,83 - 0,88	0,89 - 0,94	> 0,94
30 - 39	< 0,84	0,84 - 0,91	0,92 - 0,96	> 0,96
40 - 49	< 0,88	0,88 - 0,95	0,96 - 1,00	> 1,00
50 - 59	< 0,90	0,90 - 0,96	0,97 - 1,02	> 1,02
60 - 69	< 0,91	0,91 - 0,98	0,99 - 1,03	> 1,03

Outra forma sugerida para prever o risco para saúde decorrente do maior acúmulo de gordura na região central do corpo é a recorrência da razão entre medida de circunferências de cintura e estatura. Nesse caso, dimensões da razão cintura/estatura maiores que 0,50 tendem a aumentar a incidência de disfunções cardiometabólicas [17].

$$\text{Razão cintura/estatura} = \frac{\text{Circunferência de cintura (cm)}}{\text{Estatura (cm)}}$$

Principal vantagem do uso da razão cintura/estatura, em comparação com a razão cintura/quadril, está no fato de que, em tese, este deverá apresentar maior sensibilidade para a análise do padrão de distribuição de gordura, levando-se em conta a provável variação conjunta das medidas de circunferências da cintura e do quadril durante o processo de maior acúmulo e de redu-

ção da gordura corporal. Além do mais, essas medidas permitem comparações imediatas quanto à distribuição de gordura corporal de indivíduos que apresentam diferentes medidas de estatura.

O chamado índice de conicidade é mais uma opção antropométrica capaz de oferecer informações sobre perfil de distribuição da gordura corporal. Esse índice baseia-se no pressuposto de que o perfil morfológico do corpo humano, ao apontar maior concentração de gordura na região central, reveste-se de um formato parecido com um duplo cone com uma base comum, ao passo que, ao assinalar menores quantidades de gordura na região central do corpo, mostra-se com aparência similar a um cilindro <sup>[18]</sup> (Figura 5.4).

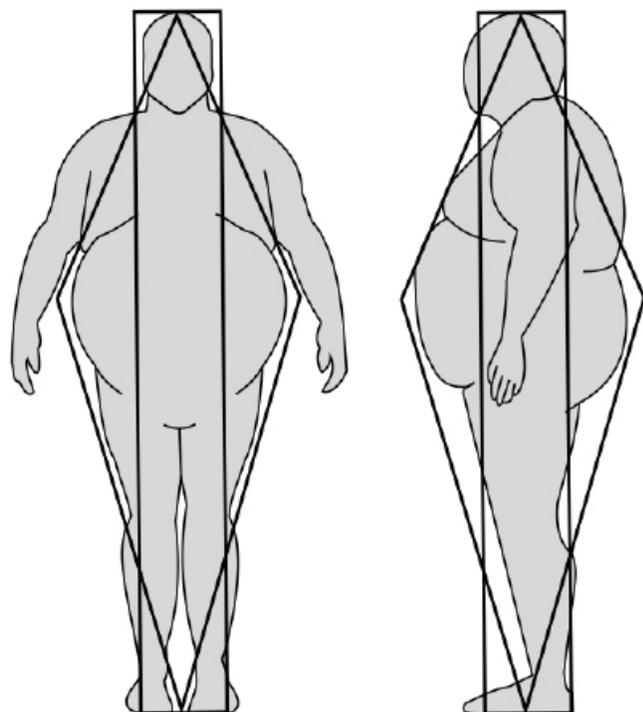


Figura 5.4 – Perfil morfológico associado a um duplo cone e a um cilindro direcional à descrição da distribuição da gordura corporal.

Para o seu cálculo são envolvidas as medidas da circunferência de cintura e da estatura, expressas em metros, e do peso corporal, consignado em kg:

$$\text{Índice de Conicidade} = \frac{\text{Circunferência de cintura (m)}}{0,109 \times \sqrt{\frac{\text{Peso Corporal (kg)}}{\text{Estatura (m)}}}}$$

Apesar de valores elevados no índice de conicidade estarem mais fortemente associados aos fatores de risco predisponentes às doenças cardiovasculares e metabólicas que outros indicadores antropométricos de obesidade abdominal <sup>[19]</sup>, a limitação importante relacionada ao seu uso é a falta de indicadores referenciais para avaliação do risco para saúde.

Nesse particular, até o momento se tem sugerido adotar valores próximos de 1 (perfil morfológico similar a de um cilindro perfeito) como indicativo de baixo risco de aparecimento e desenvolvimento de disfunções cardiovasculares e metabólicas. Em contrapartida, valores próximos de 1,73 (perfil morfológico similar a de um duplo cone perfeito) como indicativo de elevado risco de aparecimento e desenvolvimento de disfunções cardiovasculares e metabólicas <sup>[20]</sup>.

Na tentativa de exemplificar a sequência de cálculos a ser empregada na identificação do padrão de distribuição de gordura corporal mediante indicadores antropométricos, supõe-se, hipoteticamente, um homem de 46 anos de idade, com as seguintes dimensões antropométricas:

Estatura: 176,0cm

Peso corporal: 84,2kg

Perímetro da cintura: 104,5cm

Perímetro dos quadris: 106,7cm

$$\text{Razão cintura/estatura} = \frac{104,5\text{cm}}{106,7\text{cm}} = 0,98$$

$$\text{Razão cintura/estatura} = \frac{104,5\text{cm}}{176\text{cm}} = 0,59$$

$$\text{Índice de Conicidade} = \frac{1,045\text{m}}{0,109 \sqrt{\frac{84,2\text{kg}}{1,76\text{m}}}} = \frac{1,045\text{m}}{0,109 \sqrt{47,841}} = \frac{1,045\text{m}}{0,19 \times 6,917} = 1,39$$

Por meio da análise da razão cintura/quadril (0,98), considera-se que a distribuição de gordura do indivíduo citado no exemplo representa alto risco para saúde. Com relação ao índice de conicidade, o valor constatado (1,39) se encontra em posição intermediária (variação teórica esperada entre 1,00 e 1,73). A situação preocupante em relação à medida de circunferência de cintura se confirma ao se comparar a razão de cintura/estatura observada (0,59) com o ponto de corte previamente estabelecido (0,50) para o aumento da incidência de disfunções crônico-degenerativas.

## Equações para estimativas da proporção de gordura corporal

Com base na estreita relação entre as medidas de densidade corporal e as dimensões de espessura das dobras cutâneas, o que credencia o método antropométrico como boa opção para as estimativas associadas à quantidade de gordura corporal, e tendo-se em vista que os procedimentos densitométricos são empregados para validar outras técnicas, têm sido propostas equações preditivas que viabilizam enormemente o emprego das medidas de espessura das dobras cutâneas na análise da composição corporal.

Quando se utilizam equações de regressão com essa finalidade considera-se que o somatório das medidas de algumas espessuras de dobras cutâneas possa ser um bom indicador da gordura subcutânea, e os valores equivalentes à densidade corporal da quantidade total de gordura do corpo. Contudo, evidências constatadas em experimentos têm demonstrado que o comportamento da relação entre espessura de dobras cutâneas e densidade corporal é influenciado por variações biológicas associadas ao sexo, à idade e à quantidade de gordura corporal do indivíduo avaliado <sup>[21]</sup>:

- (a) as mulheres apresentam maiores depósitos de gordura intramuscular, intermuscular e nos órgãos internos (gordura visceral) que os homens para idêntica quantidade de gordura subcutânea;

- (b) os indivíduos de mais idade, do mesmo sexo e com valores de densidade corporal similares apresentam proporcionalmente menores quantidades de gordura subcutânea que os seus equivalentes mais jovens; e
- (c) os indivíduos com menores quantidades de gordura corporal total apresentam proporção mais elevada de gordura interna que os mais gordos, e, à medida que a quantidade total de gordura corporal aumenta, a proporção de gordura localizada internamente diminui.

Levando-se em conta esses pressupostos, as inúmeras equações de regressão à disposição na literatura podem ser classificadas em dois grupos: equações específicas e equações generalizadas. As equações específicas são desenvolvidas com base em informações apresentadas por grupos homogêneos de indivíduos relativamente ao sexo, à idade e aos níveis de gordura corporal. Portanto, devem ser empregadas em segmentos específicos da população com características similares.

Por outro lado, na proposição das equações generalizadas são envolvidos indivíduos que apresentam diferentes quantidades de gordura corporal e dentro de uma faixa etária bastante ampla. Desse modo, procura-se minimizar a participação do grau de adiposidade e do processo de envelhecimento orgânico na relação estatística entre a gordura corporal total e a gordura subcutânea.

A princípio, parece claro que as equações específicas apresentam maior validade preditiva quando utilizadas em indivíduos pertencentes ao mesmo segmento da população da qual se originou a equação; entretanto, quanto maior a especificidade da equação, menor sua aplicação. Dessa forma, equações generalizadas e idealizadas com base em amostras representativas de populações heterogêneas em relação à idade e ao nível de adiposidade podem aumentar as opções de aplicação.

Os erros de predição associados à utilização de equações para estimativas da quantidade de gordura corporal são estabelecidos em valores por volta de 5%, apesar de que, de acordo com a equação utilizada e com o indivíduo a ser analisado, podem ser encontrados vieses entre 3% e 9% da gordura corporal real [22].

Ao se optar por uma equação que envolve medidas de espessura de dobras cutâneas para predição da quantidade de gordura corporal, deve-se observar o princípio de validação dessa mesma equação em amostras de indivíduos pertencentes à população em que se pretende utilizar. A proposição de equações desse tipo, acompanhada de baixos erros de estimativa, não significa necessariamente que estas possam ser utilizadas em todas as populações. Nesse particular, torna-se necessário submetê-las a um processo de validação para ajustar seus coeficientes preditivos e estabelecer os novos erros de estimativas específicos para aquela população. Portanto, deve-se dar atenção especial ao processo de validação das equações antropométricas com intenção de estabelecer estimativas mais precisas sobre a quantidade de gordura corporal.

Em estudos em que há empenho por validar as equações específicas propostas com base em amostras de indivíduos norte-americanos, europeus e asiáticos, verificou-se que estas produzem vieses acentuados quando comparadas com a utilização dos procedimentos densitométricos na análise da quantidade de gordura corporal de indivíduos pertencentes a segmentos da população no Brasil. Nesse caso, foram identificados erros de estimativas equivalentes até da quantidade de gordura corporal de mulheres e homens brasileiros reunidos nos estudos [23,24]. Em vista disso, na sequência, propuseram-se novas equações específicas para segmentos da população adulta brasileira que melhor possam atender à nossa realidade [25].

Essas equações de regressão surgiram de estudos com sujeitos de ambos os sexos entre 18 e 30 anos de idade e tinham como variáveis preditivas a aproxima-

ção logarítmica do somatório das espessuras de três dobras cutâneas. Os homens envolvidos na amostra para a proposição da equação apresentavam quantidades de gordura relativa ao peso corporal entre 4% e 30%; e as mulheres, entre 13% e 37%. As medidas de espessura das dobras cutâneas foram realizadas com compassos do tipo *Harpenden*. Com relação aos erros de estimativa resultantes das equações – mediante validação cruzada em amostras diferentes das que foram envolvidas na proposição das equações – verifica-se que estes variaram entre 1,5% e 3,0% em indivíduos de diferentes quantidades de gordura corporal, o que mostra que os valores de densidade corporal podem ser estimados com precisão dentro dos limites admissíveis, independentemente do perfil de adiposidade dos indivíduos a serem analisados (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Equações específicas para predição dos valores de densidade corporal com base em espessuras de dobras cutâneas de adultos brasileiros

Equação de regressão	R <sup>2</sup>	Erro de estimativa
<b>Mulheres</b>		
DENS = 1,1665 – 0,0706 Log <sub>10</sub> (X <sub>1</sub> )	0,853	0,0053
<b>Homens</b>		
DENS = 1,1714 – 0,0671 Log <sub>10</sub> (X <sub>2</sub> )	0,894	0,0057
DENS: valores preditos de densidade corporal (g/ml) X <sub>1</sub> : somatório das espessuras de dobras cutâneas medidas nas regiões subescapular, suprailíaca e da coxa X <sub>2</sub> : somatório das espessuras de dobras cutâneas medidas nas regiões tricipital, suprailíaca e abdominal.		

A localização dos pontos anatômicos das dobras cutâneas envolvidas nessas duas equações deve ser definida com o indivíduo em posição ortostática e em repouso. A espessura da dobra cutânea tricipital é determinada paralelamente ao eixo longitudinal do braço, na fase posterior, sendo seu ponto exato de reparo a distância média entre a borda súpero-lateral do acrômio e o olecrano. Para mensuração da espessura da dobra cutânea suprailíaca, o indivíduo afasta levemente o braço direito para trás, procurando não interferir na obtenção da medida. Essa dobra cutânea é individualizada no sentido oblíquo, acima da cristailíaca ântero-superior,

na altura do prolongamento da linha axilar anterior. Na região abdominal, a dobra cutânea é determinada no sentido paralelo ao eixo longitudinal do corpo, aproximadamente a 2 cm à direita da borda lateral da cicatriz umbilical. A espessura da dobra cutânea subescapular é obtida obliquamente ao eixo longitudinal, seguindo-se orientação dos arcos costais, e estando localizada a 2cm abaixo do ângulo inferior da escápula. Para obter a medida de espessura da dobra cutânea da coxa proximal, a perna direita é deslocada ligeiramente à frente, e o peso corporal é sustentado quase totalmente sobre a perna esquerda. Destaque-se a dobra cutânea no sentido paralelo ao eixo longitudinal da perna, sobre o músculo do reto femoral, no terço superior da distância entre o ligamento inguinal e o bordo superior da patela (Figura 5.5).



Figura 5.5 – Localização anatômica das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões tricipital, suprailíaca, abdominal, subescapular e da coxa proximal envolvidas nas equações específicas propostas por Guedes & Guedes [25].

Estimado o valor equivalente à densidade corporal, pode-se calcular a gordura relativa ao peso corporal com base nas expressões matemáticas propostas por Siri ou por Brozek et al.:

Siri [26]	Brozek et al. [27]
$\% \text{ gord} = \left( \frac{4,95}{\text{Dens}} - 4,50 \right) 100$	$\% \text{ gord} = \left( \frac{4,57}{\text{Dens}} - 4,142 \right) 100$
<b>% gord : Proporção de gordura em relação ao peso corporal; e Dens: Densidade corporal expressa em g/ml.</b>	

Com a finalidade de ilustrar a sequência de cálculo das equações de regressão, toma-se como hipótese um homem com 28 anos de idade e 78,8kg de peso corporal. Com relação às espessuras das dobras cutâneas, consideram-se dimensões de 15,9, 21,7 e 24,6mm para as regiões tricipital (TR), suprailíaca (SI) e abdominal (AB), respectivamente:

$$\begin{aligned} \text{Densidade corporal (g/ml)} &= 1,1714 - 0,0671 \text{Log}_{10} (\text{TR} + \text{SI} + \text{AB}) \\ &= 1,1714 - 0,0671 \text{Log}_{10} (15,9\text{mm} + 21,7\text{mm} + 24,6\text{mm}) \\ &= 1,1714 - 0,0671 \text{Log}_{10} (62,2\text{mm}) \\ &= 1,1714 - 0,0671 \times 1,7934 \\ &= 1,05106 \text{ g/ml} \\ &4,95 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gordura relativa (\%)} &= \left( \frac{4,95}{\text{Densidade corporal}} - 4,50 \right) 100 \\ &= \left( \frac{4,95}{1,05106 \text{ g/m}} - 4,50 \right) 100 \\ &= 20,95\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Gordura}_{\text{absoluta}} \text{ (kg)} &= \text{Peso corporal} \left( \frac{\text{Gordura relativa (\%)}}{100} \right) \\ &= 78,8\text{kg} \left( \frac{20,95\%}{100} \right) \\ &= 16,5\text{kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa magra (kg)} &= \text{Peso corporal} - \text{Gordura}_{\text{absoluta}} \\ &= 78,8\text{kg} - 16,5\text{kg} \\ &= 62,3\text{kg} \end{aligned}$$

Por apresentar erro de predição nos limites toleráveis para um critério de validação satisfatório e pela reduzida quantidade de espessura de dobras cutâneas envolvida em seus cálculos, além da amplitude de idade

dos indivíduos que podem ser analisados, as equações generalizadas idealizadas pelo grupo de trabalho liderado por Jackson & Pollock <sup>[28,29]</sup> têm tido reconhecida aceitação e aplicação no campo da educação física e da nutrição. Em suas proposições foram envolvidos homens de 18 a 61 anos de idade com quantidade de gordura relativa ao peso corporal entre 1% e 33% e mulheres de 18 a 55 anos com quantidades de gordura corporal entre 4% e 44%. Seus proponentes optaram por utilizar compassos do tipo *Lange* para as medidas de espessura das dobras cutâneas (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 – Equações generalizadas para predição dos valores de densidade corporal com base em medidas de espessura de dobras cutâneas idealizadas pelo grupo de trabalho liderado por Jackson & Pollock <sup>[28,29]</sup>.

Equação de regressão	R <sup>2</sup>	Erro de estimativa
<b>Mulheres</b>		
<b>DENS = 1,0994921 – 0,0009929 (X<sub>1</sub>) + 0,0000023 (X<sub>2</sub>)<sup>2</sup> – 0,0001392(Idade)</b>	<b>0,84</b>	<b>0,0086</b>
<b>Homens</b>		
<b>DENS = 1,109380 – 0,0008267 (X<sub>2</sub>) + 0,0000016 (X<sub>2</sub>)<sup>2</sup> – 0,0002574(Idade)</b>	<b>0,91</b>	<b>0,0077</b>
<b>DENS: valores preditos de densidade corporal (g/ml)</b>		
<b>X<sub>1</sub>: somatório das medidas de espessuras das dobras cutâneas destacadas nas regiões tricipital, supraílica e da coxa</b>		
<b>X<sub>2</sub>: somatório das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões peitoral, abdominal e da coxa</b>		
<b>Idade: idade do indivíduo em anos completos</b>		

Em relação à localização dos pontos anatômicos relacionados às dobras cutâneas envolvidas em seus cálculos, aquelas destacadas nas regiões tricipital, supraílica e abdominal coincidem com a padronização proposta anteriormente para as equações específicas. No entanto, com relação à espessura da dobra cutânea da coxa, em vez de a medição ser realizada no terço superior da distância entre o ligamento inguinal e o bordo superior da patela, esta se situa na distância média entre esses dois pontos. A espessura da dobra cutânea

peitoral é determinada obliquamente ao eixo longitudinal e acompanha o sentido entre a linha axilar anterior e o mamilo. Sua localização corresponde à distância média entre esses dois pontos (figuras 5.6).

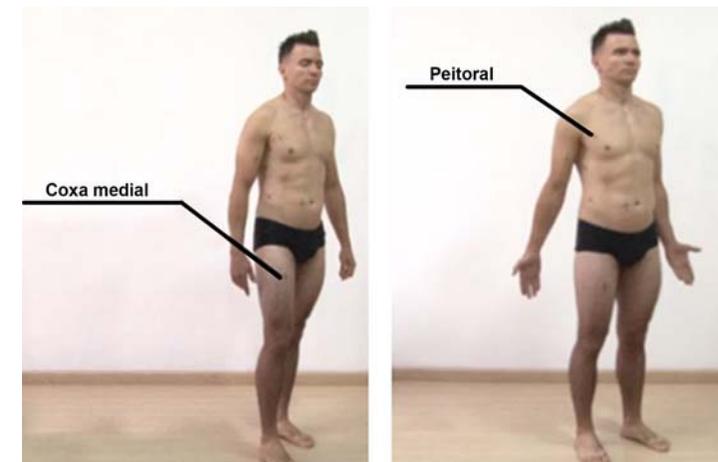


Figura 5.6 – Localização anatômica das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões da coxa e peitoral utilizadas nas equações generalizadas propostas pelo grupo de trabalho liderado por Jackson & Pollock <sup>[28,29]</sup>.

Apesar de algumas tentativas nesse sentido, a inexistência de estudos que possam ter conseguido validar a utilização de equações generalizadas em amostras da população brasileira nos limites de erros de estimativas aceitáveis – mesmo admitindo-se que os referenciais teóricos que as cercam podem superar algumas limitações biológicas apresentadas pelas equações específicas – torna sua utilização em nosso meio, até o momento, uma incógnita no que tange ao índice de precisão na predição da quantidade de gordura corporal.

## Referências

1. Wang J, Thornton JC, Kolesnik S, Pierson RN. Anthropometry in body composition: an overview. *Am NY Acad Sci* 2000; 904:317-26.
2. Van der Ploeg GE, Gunn SM, Withers RT, Modra AC. Use of anthropometric variables to predict relative body fat determined by a four-compartment body composition model. *Eur J Clin Nutr* 2003; 57:1009-16.
3. Peterson MJ, Czerwinski SA, Siervogel RM. Development and validation of skinfold-thickness prediction equations with a 4-compartment model. *Am J Clin Nutr* 2003; 77:1186-91.
4. Garcia AL, Wagner K, Hothorn T, Koebnick C, Zunft HJ, Trippo U. Improved prediction of body fat by measuring skinfold thickness, circumferences, and bone breadths. *Obes Res* 2005; 13:626-34.

5. Deurenberg P, Weststrate JA, Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr* 1991; 65:105-14.
6. Bray GA. Overweight is risking fate. Definition, classification, prevalence and risk. *Annals of New York Academy of Sciences*, v.249, p.14-28, 1987.
7. Jackson AS, Ellis KJ, McFarlin BK, Sailors MH, Bray MS. Body mass index bias in defining obesity of diverse young adults: the Training Intervention and Genetics of Exercise Response (TIGER) study. *Br J Nutr* 2009; 102:1084-90.
8. Deurenberg P; Weststrate JA; Seidell JC. Body mass index as a measure of body fatness: age and sex-specific prediction formulas. *Br J Nutr* 1991; 65:105-14.
9. Clarys JP, Provyn S, Marfell-Jones MJ. Cadaver studies and their impact on the understanding of human adiposity. *Ergonomics* 2005; 48:1445-61.
10. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT, Marfell-Jones MJ. The skinfold: myth and reality. *J Sport Sci* 1987; 5:3-33.
11. Gruber JJ, Pollock ML, Graves JE, Colvin AB, Braith RW. Comparison of Harpenden and Lange calipers in predicting body composition. *Res Q Exerc Sport* 1990; 61:184-90.
12. Gore CJ, Carlyon RG, Franks SW, Woolford SM. Skinfold thickness varies directly with spring coefficient and inversely with jaw pressure. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32:540-6.
13. Ulijaszek SJ, Kerr DA. Anthropometric measurement error and the assessment of nutritional status. *Br J Nutr* 1999; 82:165-77.
14. Schmidt PK, Carter JE. Static and dynamic differences among Five types of skinfold calipers. *Hum Biol* 1990; 62:369-88.
15. Pou KM, Massaro JM, Hoffmann V, Lieb K, Vasar RS, O'Donnell CL, Fox CS. Patterns of abdominal fat distribution: the Framingham Heart Study. *Diabetes Care* 2009; 32:481-5.
16. Björntorp P. The association between obesity, adipose tissue distribution and disease. *Acta Med Scand* 1988; 723:121-34.
17. Ashwell M, Gunn P, Gibson S. Waist-to-height ratio is a better screening tool than waist circumference and BMI for adult cardiometabolic risk factors: systematic review and meta-analysis. *Obes Rev* 2012; 13:275-86.
18. Valdez R. A simple model-based index of abdominal adiposity. *Journal of Clinical Epidemiology*, v.44, p.955-6, 1991.
19. Yasmin; Mascie-Taylor CGN. Adiposity indices and their relationship with some risk factors of coronary heart disease in middle-age Cambridge men and women. *Annals of Human Biology*, v.27, p.239-48, 2000.
20. Valdez R; Seidell JC; Ahn YL; Weiss KM. A new index of abdominal adiposity as an indicator of risk for cardiovascular disease. A cross-population study. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, v.17, p.77-82, 1993.
21. Lohman TG. Skinfolts and body density and their relation to body fatness: a review. *Human Biology*, v.53, p.181-225, 1981.
22. Jackson AS, Pollock ML. Prediction accuracy of body density, lean body weight, and total body volume equations. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.4, p.197-201, 1977.
23. Guedes DP. Tentativa de validação de equações para predição dos valores de densidade corporal com base nas espessuras de dobras cutâneas em universitários. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, v.6, p.182-91, 1985.
24. Guedes DP. Gordura corporal: validação da equação proposta por Faulkner em jovens pertencentes à população brasileira. *Artus - Revista de Educação Física e Desporto*, v.9, p.10-3, 1986.

25. Guedes DP, Guedes JERP. Proposição de equações para predição da quantidade de gordura corporal em adultos jovens. *Semina - Revista Cultural e Científica da Universidade Estadual de Londrina*, v.12, p.61-70, 1991.
26. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A (Eds.) *Techniques for Measuring Body Composition*. Washington, National Academy of Science, 1961, p. 223-44.
27. Brozek J; Grande F; Anderson JT; Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.110, p.113-40, 1963.
28. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density for men. *British Journal of Nutrition*, v.40, p.497-504, 1978.
29. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, v.12, p.175-82, 1980.

# CAPÍTULO 6

## Uso dos procedimentos clínicos em situações específicas

Com o avanço tecnológico e metodológico observado na área nas últimas décadas, os principais constituintes associados à composição corporal, como é o caso da densidade corporal, da água, do potássio corporal e do mineral ósseo, passaram a ser determinados com elevada precisão independentemente das características morfológicas do indivíduo. Contudo, estimativas equivalentes à massa isenta de gordura e, também, ao componente de gordura de jovens, idosos e atletas exigem pressupostos específicos diferentes dos tradicionalmente empregados.

Enquanto as proporções dos constituintes que compõem a massa isenta de gordura se mantêm razoavelmente constantes em adultos, nos períodos críticos de crescimento e maturação que ocorrem em idades jovens, nos processos mais acentuados de envelhecimento das estruturas biológicas e nos atletas em fase de treino estes sofrem profundas variações. Com o avanço da idade, até que se alcance o estágio adulto, constatam-se significativas modificações associadas tanto à redução na quantidade de água corporal quanto ao aumento no conteúdo de mineral ósseo e na proporção de potássio corporal inerentes ao próprio período de maturação; logo, a massa isenta de gordura tende a se tornar mais densa à medida que o jovem se aproxima do estágio adulto <sup>[1]</sup>.

Por outro lado, a partir dos 60 anos, com o processo de envelhecimento o conteúdo de mineral ósseo diminui por volta de 1% ao ano, ocasionando redução importante na densidade da massa isenta de gordura nos idosos, particularmente nas mulheres <sup>[2]</sup>. Ainda, em razão de adaptações causadas por treinos específicos, os atletas tendem a apresentar acentuadas modificações nas concentrações de mineral ósseo, água e potássio corporal, o que repercute na densidade da massa isenta de gordura <sup>[3]</sup>.

Em vista disso, ao assumir o modelo clássico de fracionamento do peso corporal em dois componentes, o emprego de modelos baseados em pressupostos adotados para o organismo adulto tende, sistematicamente, a superestimar a quantidade de gordura relativa ao peso corporal e, contrariamente, a subestimar o componente

de massa isenta de gordura em jovens e idosos [4]. No caso de atletas, a magnitude e a direção dos vieses dependem, fundamentalmente, do tipo de treino e da modalidade de esporte [5].

Quando se analisa a composição corporal desses três segmentos da população, uma tentativa de minimizar a influência das variações observadas nos constituintes da massa isenta de gordura é o uso de abordagens multicompartimentais. Todavia, como as abordagens multicompartimentais exigem equipamentos mais sofisticados e profissionais qualificados especificamente para o seu manuseio, essa opção passa a ser inviável no cenário clínico. Assim, ao insistir-se no uso das técnicas de bioimpedância e antropométrica para análise da composição corporal de jovens, idosos e atletas, é fundamental adotar modelos que envolvam abordagens multicompartimentais, para mensurar as variações interindividuais na proporção dos constituintes que compõem a massa isenta de gordura, a fim de se obterem estimativas com maior validade e que atendam a suas especificidades.

## Jovens

Até há pouco tempo, o desconhecimento do exato valor dos constituintes da massa isenta de gordura em indivíduos ainda não-maturados biologicamente vinha tornando impossível propor modelos que pudessem oferecer maior segurança à análise da composição corporal de jovens por intermédio de procedimentos clínicos. O emprego, em jovens, de referenciais baseados nos constituintes da massa isenta de gordura de adultos pode resultar em vieses da ordem de 7% a 13% na quantidade de gordura relativa ao peso corporal [1].

No entanto, mais recentemente vêm sendo observados avanços importantes nesse campo. Com base em indicações de que a proporção de água na massa isenta de gordura, em média, varia entre 80,6% no nascimento e 73,2% no início da idade adulta e a contribuição dos minerais e da proteína para a massa isenta de gordura aumenta de, aproximadamente, 4% a 6,2% e de 15% a 19%,

respectivamente [6], tornou-se possível ajustar valores estimados para a massa isenta de gordura em relação à idade e ao sexo dos jovens – Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Variações na quantidade de água, proteína e minerais na definição da massa isenta de gordura em relação à idade e ao sexo de jovens.

Idade (Anos)	Compartimentos da Massa Isenta de Gordura (%)					
	Água		Proteínas		Minerais	
	Moças	Rapazes	Moças	Rapazes	Moças	Rapazes
Nascimento	80,6	80,6	15,0	15,0	3,7	3,7
1	78,8	79,0	16,9	16,6	3,7	3,7
3	77,9	77,5	17,7	17,8	3,7	4,0
5	77,0	76,0	18,8	18,5	3,7	4,3
7 - 9	76,6	76,8	17,5	18,1	4,9	5,1
9 - 11	75,8	75,2	17,8	18,4	5,2	5,4
11 - 13	75,1	74,4	17,9	18,9	5,5	5,7
13 - 15	74,6	73,7	18,6	19,1	5,9	6,2
15 - 17	74,0	73,2	18,9	19,3	6,1	6,5
17 - 20	73,8	73,0	19,2	19,4	6,0	6,6

Ainda, supondo-se que as diferentes proporções de contribuição da água, da proteína e dos minerais impactam fortemente na densidade da massa isenta de gordura de jovens ainda em processo de maturação biológica, foi proposta uma série de aproximações matemáticas direcionadas à estimativa da quantidade de gordura em proporção ao peso corporal [7] – Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Aproximações matemáticas para estimativas da quantidade de gordura em proporção ao peso corporal de jovens com base nos valores de densidade corporal.

Idade (anos)	Moças	Rapazes
1 - 2	(5,65/Densidade) - 5,26	(5,64/Densidade) - 5,26
3 - 4	(5,58/Densidade) - 5,20	(5,53/Densidade) - 5,14
5 - 6	(5,53/Densidade) - 5,14	(5,43/Densidade) - 5,03
7 - 8	(5,43/Densidade) - 5,03	(5,38/Densidade) - 4,97
9 - 10	(5,35/Densidade) - 4,95	(5,30/Densidade) - 4,89
11 - 12	(5,25/Densidade) - 4,84	(5,23/Densidade) - 5,81
13 - 14	(5,12/Densidade) - 4,69	(5,07/Densidade) - 5,64
15 - 16	(5,07/Densidade) - 4,64	(5,03/Densidade) - 5,59
17 - 19	(5,05/Densidade) - 4,62	(4,98/Densidade) - 5,53

Nesse particular, há que se levar em conta que a validação desses novos modelos não pode ser determinada diretamente, pois que ainda não é possível determinar a densidade da massa isenta de gordura a não ser em cadáveres. Contudo, comparando-se os valores obtidos mediante esses modelos com os produzidos por procedimentos tetracompartimentais, é bem possível que os novos modelos sejam mais apropriados e produzam estimativas da proporção de gordura corporal e massa isenta de gordura mais próximas dos valores reais <sup>[8]</sup>.

### **Bioimpedância elétrica**

Informações associadas à bioimpedância elétrica também têm sido sugeridas para análise da composição corporal de jovens. Entretanto, a literatura específica apresenta limitada quantidade de modelos matemáticos ajustados à finalidade de estimar os componentes de gordura e de massa isenta de gordura, especificamente de crianças e adolescentes.

Recorrendo-se a informações propiciadas por análise tricompartimental como variável dependente, foram sugeridas estimativas da massa isenta de gordura de moças e rapazes, entre 10 e 19 anos, mediante as constantes <sup>[9]</sup>:

$$\text{MIG} = 0,61 (\text{Estatura}^2/\text{resistência}) + 0,25 (\text{Peso}) + 1,31$$

Em que:

MIG: massa isenta de gordura (kg)

Estatura: estatura do jovem (cm)

Resistência: resistência oferecida à condução da corrente elétrica ( $\Omega$ )

Peso: peso corporal do jovem (kg)

Esse modelo foi validado mediante amostra cruzada e foi constatado viés médio de estimativa de 2,1kg. Apesar de evidências apontarem que a idade está diretamente relacionada à impedância em jovens, seus idealizadores relataram que adicionar a idade como mais

um fator de predição não aprimora significativamente os coeficientes de validação do modelo.

Para análise da composição corporal mediante a técnica de bioimpedância elétrica em crianças de ambos os sexos entre 6 e 10 anos de idade, sugere-se modelo idealizado como variável dependente a quantidade de água corporal estimada por intermédio da hidrometria <sup>[11]</sup>:

$$\text{Água} = 0,593 (\text{Estatura}^2/\text{resistência}) + 0,065 (\text{Peso}) + 0,04$$

Em que:

Água: quantidade de água corporal (L)

Estatura: estatura do jovem (cm)

Resistência: resistência oferecida à condução da corrente elétrica ( $\Omega$ )

Peso: peso corporal do jovem (kg)

Nesse caso, o viés de estimativa foi equivalente a 1,41 litros. Para o fracionamento do peso corporal em componentes de gordura e de massa isenta de gordura, é necessário recorrer às constantes de conversão <sup>[11]</sup>:

	Moças	Rapazes
5 - 6 anos	MIG (kg) = Água/0,780	MIG (kg) = Água/0,770
7 - 8 anos	MIG (kg) = Água/0,776	MIG (kg) = Água/0,768
9 - 10 anos	MIG (kg) = Água/0,770	MIG (kg) = Água/0,762

### **Antropometria**

Ao contrário do que se observa em adultos, raras são as equações com medidas de espessura de dobras cutâneas propostas com o fim de estimar os indicadores de composição corporal de jovens. Até certo ponto, essa situação deixa transparecer alguma incoerência. Levando-se em conta que as dificuldades para persuadir crianças e adolescentes a cooperarem com os procedimentos de qualquer técnica de laboratório são significativamente maiores que as apresentadas por adultos, parece existir maior necessidade de utilizar equações preditivas nesse segmento da população.

Dentre as poucas equações específicas para jovens apresentadas na literatura, as sugeridas pela equipe de Slaughter são as que têm recebido maior aceitação. Em sua proposição foi envolvida a proporção de gordura, em relação ao peso corporal, obtida pelas informações provenientes de análise multicompartimental como variável dependente e pelo somatório das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões tricipital e subescapular como variável independente. O viés de estimativa produzido pelas equações é estimado entre 3,6% e 3,9%<sup>[12]</sup>.

As equações foram propostas considerando-se separadamente sexo, etnia (brancos e negros), nível maturacional de acordo com critérios propostos por Tanner (pré-púbere, púbere e pós-púbere) e quantidade de gordura corporal tendo-se como ponto de corte o somatório das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões tricipital e subescapular ( $\Sigma_2$ ) menor ou igual a 35mm:

$$\Sigma_2 \leq 35 \text{ mm}$$

**Rapazes/brancos:**

Pré-púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 1,7$$

Púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 3,4$$

Pós-púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 5,5$$

**Rapazes/negros:**

Pré-púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 3,5$$

Púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 5,2$$

Pós-púbere

$$\% \text{ gord} = 1,21 (\Sigma_2) - 0,008 (\Sigma_2)^2 - 6,8$$

**Moças brancas e negras de qualquer nível maturacional:**

$$\% \text{ gord} = 1,33 (\Sigma_2) - 0,013 (\Sigma_2)^2 - 2,5$$

$$\Sigma_2 > 35 \text{ mm}$$

**Rapazes brancos e negros de qualquer nível maturacional:**

$$\% \text{ gord} = 0,783 (\Sigma_2) + 1,6$$

**Moças brancas e negras de qualquer nível maturacional:**

$$\% \text{ gord} = 0,546 (\Sigma_2) + 9,7$$

Na sequência, foi testada a validade do conjunto de equações proposto e o resultado assinalou indicadores estatísticos bastante satisfatórios<sup>[13]</sup>. Ainda, estudos envolvendo curva ROC apontaram quantidades de gordura, em rapazes e moças, respectivamente, relativa ao peso corporal equivalente a 20% e 30% como maior potencial de risco para o aparecimento e o desenvolvimento de fatores de risco predisponentes às doenças cardiovasculares em jovens<sup>[14]</sup>.

Por outro lado, em idades jovens o IMC também pode se constituir em importante critério diagnóstico preliminar para identificar a presença de excesso de peso e gordura corporal. Todavia, assim como em adultos, especificamente para essa finalidade, este índice antropométrico deve ser empregado com cautela, visto que valores mais elevados de IMC podem, não necessariamente, apontar maior acúmulo de gordura corporal. Mas, considera-se que o IMC pode se configurar como alternativa interessante ao tratar com jovens obesos, e não se têm disponíveis equipamentos de bioimpedância ou seus procedimentos não são recomendados para a situação, por existirem limitações importantes e a possibilidade de erro de medida das espessuras de dobras cutâneas aumenta acentuadamente quando se avaliam indivíduos obesos.

Em adultos existe consenso quanto ao critério diagnóstico para quantificar o excesso de peso e gordura corporal a partir do IMC; porém, este não é o caso em jovens. Considerando-se as implicações dos processos de crescimento físico e maturação biológica, ocorrentes nessa fase de desenvolvimento, o significado do IMC para jovens solicita diferenciações mais complexas do que aquelas atribuídas aos adultos. Neste particular, no contexto internacional destaca-se a proposta idealizada pela *International Obesity Task Force – IOTF* [15,16]. Em síntese, a proposta idealizada pela *IOTF* provém de dados equivalentes ao IMC de amostras de corte transversal representativas de seis países (Estados Unidos, Grã-Bretanha, Brasil, Cingapura, Holanda e Hong-Kong), o que caracteriza a internacionalidade do critério diagnóstico, coletados entre 1973 e 1993. Os pontos de corte para identificar baixo peso corporal/magreza e excesso de peso corporal/sobrepeso e obesidade em jovens com idade entre 2 e 18 anos foram definidos mediante critério epidemiológico, a partir de ajustes de modelos matemáticos específicos para sexo e idade, que aos 18 anos apresentam interceptação com valores de IMC representativos de riscos aumentados de agravamento do estado de saúde no início da vida adulta em consequência de *deficit ou superavit* de peso e gordura corporal, ou seja, 18,5 kg/m<sup>2</sup>, 25 kg/m<sup>2</sup> e 30 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente – Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Valores equivalentes ao índice de massa corporal (IMC) classificados de acordo com sexo e idade propostos pela *International Obesity Task Force – IOTF* [15,16].

Idade		Moças			Rapazes		
Anos	Meses	Baixo Peso Corporal	Sobrepeso	Obesidade	Baixo Peso Corporal	Sobrepeso	Obesidade
2	0	14,96	18,09	19,81	15,24	18,36	19,99
	3	14,86	17,96	19,68	15,13	18,22	19,85
	6	14,77	17,84	19,57	15,02	18,09	19,73
	9	14,68	17,74	19,47	14,92	17,97	19,61

3	0	14,60	17,64	19,38	14,83	17,85	19,50
	3	14,52	17,56	19,31	14,74	17,75	19,41
	6	14,44	17,48	19,25	14,66	17,66	19,33
	9	14,37	17,41	19,20	14,58	17,58	19,27
4	0	14,30	17,35	19,16	14,51	17,52	19,23
	3	14,23	17,31	19,14	14,44	17,46	19,20
	6	14,16	17,27	19,14	14,38	17,43	19,20
	9	14,10	17,24	19,16	14,32	17,40	19,22
5	0	14,04	17,23	19,20	14,26	17,39	19,27
	3	13,98	17,23	19,27	14,20	17,40	19,35
	6	13,93	17,25	19,36	14,15	17,42	19,46
	9	13,89	17,28	19,48	14,10	17,46	19,59
6	0	13,85	17,33	19,61	14,06	17,52	19,76
	3	13,82	17,39	19,78	14,02	17,59	19,94
	6	13,81	17,48	19,96	14,00	17,67	20,15
	9	13,81	17,58	20,17	13,99	17,77	20,36
7	0	13,83	17,69	20,39	14,00	17,88	20,59
	3	13,86	17,82	20,63	14,02	17,99	20,82
	6	13,90	17,96	20,89	14,05	18,12	21,06
	9	13,95	18,12	21,16	14,09	18,26	21,30
8	0	14,00	18,28	21,44	14,13	18,41	21,56
	3	14,06	18,45	21,74	14,18	18,56	21,83
	6	14,12	18,63	22,04	14,24	18,73	22,11
	9	14,19	18,81	22,35	14,30	18,90	22,41
9	0	14,26	18,99	22,66	14,36	19,07	22,71
	3	14,33	19,18	22,99	14,42	19,25	23,03
	6	14,40	19,38	23,31	14,49	19,43	23,34
	9	14,49	19,58	23,64	14,56	19,61	23,66
10	0	14,58	19,78	23,97	14,63	19,80	23,96
	3	14,68	19,99	24,29	14,71	19,97	24,25
	6	14,78	20,21	24,62	14,79	20,15	24,54
	9	14,90	20,43	24,94	14,87	20,33	24,81
11	0	15,03	20,66	25,25	14,96	20,51	25,07
	3	15,16	20,89	25,57	15,05	20,68	25,32
	6	15,30	21,12	25,87	15,15	20,85	25,56
	9	15,44	21,35	26,18	15,25	21,03	25,79

12	0	15,59	21,59	26,47	15,36	21,20	26,02
	3	15,75	21,82	26,76	15,47	21,37	26,24
	6	15,91	22,05	27,05	15,59	21,54	26,45
	9	16,07	22,27	27,31	15,71	21,72	26,66
13	0	16,23	22,49	27,57	15,84	21,89	26,87
	3	16,40	22,70	27,81	15,87	22,07	27,07
	6	16,55	22,90	28,03	16,11	22,24	27,26
	9	16,71	23,09	28,23	16,25	22,42	27,46
14	0	16,86	23,27	28,42	16,39	22,60	27,64
	3	17,01	23,44	28,59	16,54	22,77	27,82
	6	17,16	23,60	28,74	16,68	22,95	28,00
	9	17,30	23,75	28,88	16,83	23,12	28,16
15	0	17,43	23,89	29,01	16,98	23,28	28,32
	3	17,56	24,01	29,12	17,12	23,44	28,47
	6	17,68	24,13	29,22	17,26	23,59	28,61
	9	17,79	24,24	29,31	17,40	23,74	28,75
16	0	17,90	24,34	29,40	17,53	23,89	28,89
	3	17,99	24,44	29,48	17,66	24,04	29,02
	6	18,08	24,53	29,55	17,79	24,18	29,15
	9	18,17	24,61	29,63	17,92	24,32	29,29
17	0	18,24	24,70	29,70	18,04	24,46	29,43
	3	18,31	24,77	29,77	18,16	24,60	29,57
	6	18,38	24,85	29,85	18,28	24,73	29,71
	9	18,44	24,93	29,92	18,39	24,87	29,86
18	0	18,5	25	30	18,5	25	30

## Idosos

As alterações observadas nos constituintes da massa isenta de gordura dos idosos ainda não estão totalmente estabelecidas. Atualmente, os estudiosos da área estão tentando determinar o impacto das alterações nas proporções de água, proteínas e minerais na densidade da massa isenta de gordura em razão do envelhecimento. Muito do que se conhece sobre o tema é especulativo por basear-se em estudos de corte transversal, ao invés de delineamentos longitudinais.

Alguns estudos mostram que a composição química da massa isenta de gordura não influencia significativamente seu valor de densidade média, mas apontam grande variação interindivíduo nas proporções de seus constituintes em homens e mulheres idosos [2]. Sendo assim, reforçam a necessidade do uso de abordagens multicompartimentais para proposição de modelos preditivos para estimativas dos indicadores de composição corporal.

Em pessoas com idade entre 25 e 65 anos observa-se um decréscimo substancial na massa isenta de gordura (10 a 16%) devido às reduções identificadas na massa óssea, no músculo esquelético e no aporte de água corporal [17]. Menor quantidade de água corporal total reflete na diminuição de fluidos intracelulares, repercutindo, desse modo, em uma menor massa de músculo esquelético.

### Bioimpedância elétrica

Existem relativamente poucos modelos disponíveis com abordagens multicompartimentais, que corrigem a variabilidade interindivíduo do conteúdo mineral ósseo e da água corporal total, direcionados à estimativa dos indicadores de composição corporal através da técnica de BIA especificamente para idosos. Dois desses modelos foram idealizados para atender idosos entre 50 e 60 anos e estimam a massa isenta de gordura com viés médio equivalente a 2,8kg e 3,0kg em homens e mulheres, respectivamente [7]:

Mulheres

$$\text{MIG} = 0,474 (\text{Estatura}^2/\text{resistência}) + 0,180 (\text{Peso}) + 7,3$$

Homens

$$\text{MIG} = 0,600 (\text{Estatura}^2/\text{resistência}) + 0,186 (\text{Peso}) + 0,226 (\text{Reactância}) - 10,9$$

Em que:

MIG: massa isenta de gordura (kg)

Estatura: estatura do jovem (cm)

Resistência: oposição dos tecidos biológicos à condução da corrente elétrica ( $\Omega$ )

Reactância: oposição à condução elétrica devida à capacitância das membranas celulares ( $\Omega$ )

Peso: peso corporal do jovem (kg)

A validação do modelo para mulheres idosas resultou em discretas diferenças médias entre os valores de massa isenta de gordura medida e estimada (< 0,8Kg) e o viés médio menor que o encontrado no estudo original [18]. Portanto, com algum grau de segurança podem-se analisar os indicadores de composição corporal de mulheres idosas com esse modelo; entretanto, são necessários estudos específicos para confirmar a validade de predição do modelo proposto para homens idosos.

### **Antropometria**

Dentre os raros modelos antropométricos direcionados à estimativa de indicadores da composição corporal de idosos, os mais comumente utilizados parecem ser os propostos pelo grupo de trabalho de Jackson e Pollock [19,20]. No entanto, mesmo caracterizando-se como modelos generalizados para essa idade, em suas proposições a variável dependente foi tratada mediante abordagem bi-compartimental, através de estimativas dos valores de densidade corporal, sendo envolvidos homens e mulheres com idade não superior a 60 anos, e, portanto, pode não ser adequado o uso desses modelos em idosos que excedem esse limite de idade.

Talvez, seja mais seguro empregar modelo antropométrico proposto com base em abordagens multicompartimental e que envolveram idosos com idade superior a 60 anos. É o caso dos modelos propostos pelo grupo de trabalho de Williams, que originalmente possibilitaram verificar viés médio de estimativa de 2,9% e 3,8 para homens e mulheres, respectivamente [21]:

Mulheres:

$$\%Gord = 0,486 (X_1) - 0,0015 (X_1)^2 - 0,067(\text{Idade}) - 3,83$$

Homens:

$$\%Gord = 0,573 (X_2) - 0,0022 (X_2)^2 - 0,107(\text{Idade}) - 9,35$$

Em que:

%Gord: valores preditos de proporção relativa de gordura corporal

$X_1$ : somatório das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões peitoral, subescapular, axilar-média e coxa medial

$X_2$ : somatório das medidas de espessura das dobras cutâneas destacadas nas regiões tricipital, subescapular, abdominal e per na medial

Idade: idade do indivíduo em anos completo

Por outro lado, alguns estudiosos da área desencorajam o uso de medidas de espessura de dobras cutâneas para estimar indicadores de composição corporal de idosos com a justificativa de que, paralelamente ao processo de envelhecimento ocorre diminuição da elasticidade e da hidratação da pele, além de redução nas dimensões das células adiposas. Assim, ambos os fatores contribuem para um aumento na compressibilidade do tecido subcutâneo, podendo, com isso, interferir negativamente na qualidade de medida das espessuras de dobras cutâneas como variável preditora da quantidade de gordura corporal [22]. Dessa forma, o uso do método alternativo, que envolve o IMC, passa a ter maior destaque para monitorar as alterações de peso e gordura corporal de idosos do que em outros segmentos da população [23].

### **Atletas**

A análise da composição corporal é de fundamental importância para atletas por motivos biomecânicos e fisiológicos. De imediato, a massa de gordura não forne-

ce, de maneira direta, a energia solicitada para o trabalho biológico, não obstante contribuir grandemente para definição do peso corporal que, em muitos esportes, necessita ser mobilizado. Nesse caso, o empenho para vencer a força da gravidade é de suma importância e, portanto, reduzir ao máximo a quantidade de gordura corporal e minimizar o peso corporal são ações primordiais para um melhor rendimento atlético.

Por outro lado, existem esportes de contato corporal e lançamento de implemento em que maior peso corporal pode oferecer vantagens importantes. Nesses esportes, fazer com que os atletas maximizem sua capacidade de elevar a massa isenta de gordura, sobretudo, por conta do aumento da massa muscular, pode beneficiar o desempenho. Além disso, um grupo de esportes é categorizado de acordo com o peso corporal. Logo, manter o peso corporal em limites desejáveis sem que haja prejuízo para a massa isenta de gordura é um grande desafio.

As proporções adequadas de gordura e massa isenta de gordura para atletas de cada especialidade esportiva são propostas com base em estudos descritivos de participantes de equipes de elite, considerando-se que, até o momento, não estão suficientemente descritos os fatores morfofuncionais que interagem com o rendimento esportivo. Assim, as proposições se sustentam fundamentalmente no perfil de atletas que tem alcançado êxito em suas especialidades.

Com relação ao uso de procedimentos clínicos para análise da composição corporal de atletas, em razão da limitada disponibilidade de dados que descrevem as variações dos constituintes da massa isenta de gordura desse segmento da população, infelizmente não se têm informações quanto à proposição de modelos em que se recorre à técnica de bioimpedância elétrica e antropometria com base em abordagens multicompartmentais<sup>[3]</sup>.

Nesse particular, via de regra, tem-se procurado não só idealizar modelos para estimativas da gordura e da massa isenta de gordura, mediante abordagens

bi-compartmentais, ignorando-se as implicações das variações dos constituintes da massa isenta de gordura em atletas<sup>[24,25,26,27]</sup>, mas também validar modelos propostos especificamente para população em geral para uso no meio esportivo<sup>[28,29,30]</sup>. Em ambos os casos são percebidos viés de estimativas extremamente elevados, que desaconselham o emprego desses modelos em análises da composição corporal de atletas mais seguras e precisas<sup>[5]</sup>.

Portanto, a análise da composição corporal de atletas, necessariamente, deverá ser encaminhada por intermédio de técnicas laboratoriais que permitam o levantamento de informações alicerçadas em abordagens multicompartmentais<sup>[31,32]</sup>. No entanto, mais recentemente, especialistas da área notaram que o IMC de atletas que competem em determinados esportes pode se constituir em interessante indicador de acompanhamento do peso corporal<sup>[33,34]</sup>. Em um contexto mais genérico, ressalta-se que a importância dos valores de IMC de atletas é comumente questionada por não considerar as frações de gordura e massa isenta de gordura. Contudo, nesse caso, a intenção é unicamente monitorar a variação do peso corporal dos atletas, supondo-se que variações específicas nos componentes de gordura e massa isenta de gordura ocorrem em consequência de adaptações morfológicas individuais em virtude da intervenção dietética e do tipo de treino proposto<sup>[3]</sup>.

Como ilustração, dados equivalentes ao IMC de 462 atletas brasileiros participantes da Olimpíada do Rio de Janeiro (2016) apontam que, independentemente de sexo, idade e modalidade de esporte, 77% deles apresentavam medidas de peso corporal e estatura equivalente à IMC entre 20 e 25 kg/m<sup>2</sup>, enquanto não mais que 2% demonstravam sobrepeso mediante IMC > 30kg/m<sup>2</sup>. Esses dados permitem inferir que o rendimento atlético de atletas de elite está associado à presença de peso corporal eutrófico, tendo como referência as classificações para a população em geral, e que, com excessão das modalidades de esporte categorizadas por peso

corporal, por exemplo, lutas e halterofilismo, um maior peso corporal resultante da conjugação dos componentes de gordura e massa magra não é condição de melhor rendimento.

## Referências

1. Weber DR, Leonard MB, Zemel BS. Body Composition analysis in the pediatric population. *Pediatr Endocrinol Rev* 2012; 10(1):130–9.
2. Baumgartner RN. Body composition in the elderly: a critical review of needs and methods. *Prog Food & Nutr Sci* 1993; 17:223–60.
3. Ackland T, Lohman TG, Sundgot-Borgen J, Maughan RJ, Meyer NL, Stewart AD, et al. Current status of body composition assessment in sport: Review and position statement on behalf of the Ad Hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. medical commission. *Sports Med* 2012; 42(3):227–49.
4. Toomey CC A, Hughes K, Norton C, Jakeman P. A review of body composition measurement in the assessment of health. *Top Clin Nutr* 2015; 30(1):16–32.
5. Mazic S, Lazovic B, Delic M, Lazic J, Acimovic T, Brkic P. Body composition assessment in athletes: a systematic review. *Med Pregl* 2014; 67(7–8):255–60.
6. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or o. Growth, Maturation, and Physical Activity. 2<sup>th</sup> Edition. Champaign, Illinois: Human Kinetics. 2004.
7. Lohman TG. Advances in Body Composition Assessment. Champaign, Illinois: Human Kinetics, 1992.
8. Nielson DH, Cassady SL, Janz KF, Cook JS, Hansen JR, Wu YT. Criterion methods of body composition analysis for children and adolescents. *Am J Hum Biol* 1993; 5(2):211–23.
9. Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross validation study. *J Appl Physiol* 1992; 72(1):366–73.
10. Kushner RF, Schoeller DA, Fjeld CR, Danford L. Is the impedance index ( $ht^2/R$ ) significant in predicting total body water? *Am J Clin Nutr* 1992; 56(5):835–9.
11. Lohman TG. Applicability of body composition techniques and constants for children and youths. *Exerc Sports Sci Rev* 1986; 14:325–57.
12. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, et al. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 1988; 60:709–23.
13. Janz KF, Nielsen DH, Cassady SL, Cook JS, Wu YT, Hansen JR. Cross-validation of the Slaughter skinfold equations for children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25(9):1070–6.
14. Williams DP, Going sb, Lohman TG, Harsha DW, Srinivasan SR, Webber LS, et al. Body fatness and risk for elevated blood pressure, total cholesterol, and serum lipoprotein ratios in children and adolescents. *Am J Public Health* 1992; 82(3):358–63.
15. Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ* 2000; 320(7244):1240–3.
16. Cole TJ, Lobstein T. Extended international (IOTF) body mass index cut-offs for thinness, overweight and obesity. *Pediatr Obes* 2012; 7:284–94.
17. Ho-Pham L, Nguyen U, Nguyen T. Association between lean mass, fat mass, and bone mineral density: a meta-analysis. *J Clin Endocrinol Metab* 2014; 99(1):30–8.
18. Jenkins KA, Heyward VH, Cook KL, Hicks VL, Quatrochi JA, Wilson WL, et al. Predictive accuracy of bioelectrical impedance equations for women. *Am J Hum Biol* 1994; 6(3):293–303.
19. Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density for men. *Brit J Nutr* 1978; 40:497–504.
20. Jackson AS, Pollock ML, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12:175–82.
21. Williams DP, Going SB, Lohman TG, Hewitt MJ, Harber AE. Estimation of body fat from skinfold thickness in middle-aged and older men and women: a multiple component approach. *Am J Hum Biol* 1992; 4:595–605.
22. Clarys JP, Provyn S, Marfell-Jones MJ. Cadaver studies and their impact on the understanding of human adiposity. *Ergonomics* 2005; 48:1445–61.
23. Prospective Studies Collaboration. Body-mass index and cause-specific mortality in 900 000 adults: collaborative analyses of 57 prospective studies. *Lancet* 2009; 373(9669):1083–96.
24. Moon JR. Body composition in athletes and sports nutrition: an examination of the bioimpedance analysis technique. *Eur J Clin Nutr* 2013; 67:554–9.
25. Webster BL, Barr SI. Body composition analysis of female adolescent athletes: comparing six regression equations. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25:648–53.
26. De Lorenzo A, Bertini I, Iacopino L, Pagliato E, Testolin C, Testolin G. Body composition measurement in highly trained male athletes. A comparison of three methods. *J Sports Med Phys Fitness* 2000; 40:178–83.
27. Ostojic SM. Estimation of body fat in athletes: skinfolds vs bioelectrical impedance. *J Sports Med Phys Fitness* 2006; 46:442–6.
28. Eckerson JM, Evetovich TK, Stout JR, Housh TJ, Johnson GO, Housh DJ et al. Validity of bioelectrical impedance equations for estimating fat-free weight in high school female gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29:962–8.
29. Oppliger RA, Nielsen DH, Shetler AC, Crowley ET, Albright JP. Body composition of collegiate football players: bioelectrical impedance and skinfolds compared to hydrostatic weighing. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992; 15:187–92.
30. Portal S, Robinowitz J, Adler-Portal D, Burstein RP, Lahav Y, Meckel Y et al. Body fat measurements in elite adolescent volleyball players: correlation between skinfold thickness, bioelectrical impedance analysis, air-displacement plethysmography, and body mass index percentiles. *J Pediatr Endocrinol Metab* 2010; 23:395–400.
31. Moon JR, Eckerson JM, Tobkin SE, Smith AE, Lockwood CM, Walter AA et al. Estimating body fat in NCAA division I female athletes: a five-compartment model validation of laboratory methods. *Eur J Appl Physiol* 2009; 105:119–30.
32. Evans EM, Rowe DA, Mistic MM, Prior BM, Arngrimsson SA. Skinfold prediction equation for athletes developed using a four-component model. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:2006–11.
33. Ode JJ, Pivarnik JM, Reeves MJ, Knous JL. Body Mass Index as a predictor of percent fat in college athletes and nonathletes. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(3):403–9.
34. Nevill AM, Winter EM, Ingham S, Watts A, Metsios GS, Stewart AD. Adjusting athletes' body mass index to better reflect adiposity in epidemiological research. *J Sports Sci* 2010; 28(9):1009–16.

Uso dos procedimentos clínicos em situações específicas

136

Uso dos procedimentos clínicos em situações específicas

137

Uso dos procedimentos  
clínicos em situações  
específicas

**138**

# Considerações Finais

O adequado acompanhamento de programas com finalidade de controle do peso corporal, por intermédio de intervenções dietéticas e de prática de exercício físico, requer informações precisas quanto aos principais componentes do peso corporal. A simples redução ponderal não reflete necessariamente controle saudável do peso corporal. Em razão da estreita relação entre as adaptações morfológicas e o perfil metabólico e funcional para o adequado funcionamento orgânico, é fundamental acompanhar as alterações associadas aos indicadores de composição corporal, particularmente da gordura e da massa isenta de gordura, mediante técnicas de medidas específicas e válidas para o grupo de indivíduos em questão.

Dependendo do nível de exigência para a precisão, a exatidão e a validade das informações a serem tratadas, os procedimentos clínicos constituem-se em opção aceitável e acessível para análise da composição corporal. Nesse particular, as técnicas com características clínicas mais empregadas são a bioimpedância e a antropometria. Contudo, apesar da sua maior exequibilidade comparativamente com os procedimentos laboratoriais, os procedimentos clínicos apresentam limitações e especificidades no uso de seus protocolos as quais devem, necessariamente, ser consideradas quando de sua utilização.

Embora a relativa validade preditiva da técnica de medida de espessura de dobras cutâneas seja similar à de bioimpedância, se utilizada em condições clínicas controladas, a bioimpedância parece ser mais atrativa porque não requer do profissional habilidade técnica específica, sendo o método mais confortável e menos intrusivo para os avaliados e podendo, além disso, ser utilizado para analisar a composição corporal de sujeitos com sobrepeso e/ou obesos. Apesar de seu menor custo operacional em razão do equipamento empregado, por tratar-se da definição de um tecido mole e de mais difícil identificação anatômica, a técnica de medida de espessura de dobras cutâneas exige do profissional elevado grau de treinamento para a exata localização

e destaque das dobras cutâneas. Ainda, o desenvolvimento muscular e a quantidade de gordura localizada, especificamente na região anatômica em que a dobra cutânea é destacada, pode alterar a consistência da tela subcutânea, potencializando o risco de erros de medida.

Grande quantidade de equações direcionadas à análise da composição corporal empregadas nas técnicas de bioimpedância e espessuras de dobras cutâneas é disponibilizada na literatura com abordagem clássica de dois compartimentos (gordura e massa livre de gordura). Contudo, previamente ao uso dessas equações deve-se observar com especial atenção seu princípio de validação em amostras de indivíduos pertencentes à população que se pretende avaliar. Proposição de equações desse tipo não significa necessariamente que estas possam ser empregadas em todas as populações. Torna-se necessário submetê-las a um processo de validação para ajustar seus coeficientes preditivos e estabelecer os novos vieses de estimativas específicos para aquela população.

Com referência aos jovens, aos idosos e aos atletas, estimativas equivalentes aos indicadores de composição corporal exigem pressupostos específicos de fracionamento do peso corporal, que diferem dos tradicionalmente empregados em somente dois compartimentos. Enquanto a proporção dos constituintes da massa isenta de gordura se mantém razoavelmente constante em adultos, nos períodos críticos de crescimento e maturação dos jovens, nos processos mais acentuados de envelhecimento das estruturas biológicas e nos atletas em fase de treino, essa proporção sofre profundas variações.

Assim, ao insistir-se no uso das técnicas de bioimpedância e antropométrica para análise da composição corporal, nesses três segmentos da população, considera-se como de fundamental importância adotar modelos derivados de conceitos provenientes de abordagens multicompartimentais. Nesse caso, infelizmente, até o momento, não se encontram disponíveis equações com

essas características propostas e/ou validadas para uso em atletas, sendo necessário recorrer às técnicas laboratoriais, o que limita, em muito, a utilização de procedimentos clínicos para análise da composição corporal no meio esportivo.