

ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CORPORAL: UMA REVISÃO DE MÉTODOS

ANALYSIS OF THE BODY COMPOSITION: A REVIEW OF METHODS

RESUMO

Vários métodos de análise da composição corporal surgiram após os estudos iniciais de Behnke cit. Clarys, Martin & Drinkwater (1984), os quais tinham como objetivo estabelecer métodos indiretos (*in vivo*) para determinar a composição corporal. Hoje, os métodos duplamente indiretos têm tido grande aceitação por profissionais da saúde devido à facilidade na obtenção dos dados e ao menor custo dos equipamentos. Este estudo tem como objetivo revisar as técnicas de análise da composição corporal dando ênfase aos critérios de autenticidade científica e concluir qual o método ideal para a análise da composição corporal. Após esta revisão concluímos que não existe um método ideal e sim aquele que irá atingir nossos objetivos em um determinado momento, para uma determinada população.

Palavras-chave: composição corporal, densidade corporal, métodos.

ABSTRACT

Several methods of analysis of body composition have appeared since the initial studies by Behnke cit. Clarys, Martin & Drinkwater (1984) with the objective of establishing indirect methods (*in vivo*) of determining BC. Today, double-indirect methods have been gaining great acceptance among health professionals due to ease of data collection and lower cost of the equipment. The objective of this study is to review body composition analysis techniques with emphasis on the criterion of scientific authenticity and to conclude which is the ideal method for body composition analysis. After performing the review, we concluded that no single ideal method exists, but that the ideal method is that which is capable of meeting our objectives at a given time with a given population.

Key Words: body composition, body density, methods

INTRODUÇÃO

O interesse em medir a quantidade dos diferentes componentes do corpo humano iniciou no século XIX e aumentou no final do século XX devido à associação do excesso de gordura corporal com o aumento do risco em desenvolver doenças do tipo arterial coronariana, hipertensão, diabetes tipo II, pulmonar obstrutiva, osteoartrite e certos tipos de câncer (Heyward & Stolarczyk, 2000).

Por volta de 1998 a obesidade foi identificada como um fator de risco primário para doença coronariana pelo *American Heart Association* (Eckel & Krauss cit. Gustat et al., 2000). Sua prevalência vem crescendo acentuadamente nas últimas décadas, inclusive nos países em desenvolvimento como o Brasil. Dados recentes da *Força Internacional da Luta contra a Obesidade* (IOTF) in. ABESO (2001), mostram que 13,3% das mulheres brasileiras estão obesas ($IMC > 30 \text{ kg/m}^2$) e 36,8 % têm sobrepeso (IMC entre 25 e $29,9 \text{ kg/m}^2$).

Até o início do século XX a análise da composição corporal ainda era feita através da dissecação de cadáveres (*in vitro*), considerada até hoje a única maneira direta de medir os principais componentes do corpo humano. Behnke cit. Clarys, Martin e Drinkwater (1984), iniciou em seu laboratório estudos que tinham como objetivo estabelecer métodos indiretos (*in vivo*) para determinar a composição corporal. Os trabalhos pioneiros de Behnke (1942) e Brozek (1953) cit. Clarys, Martin e Drinkwater (1984), obtiveram dois grandes resultados, os quais são válidos até hoje: (1) o estabelecimento da pesagem hidrostática como método critério para todos os outros métodos indiretos; (2) a aceitação do modelo de dois componentes (peso gordo e peso magro) como base para estudos da composição corporal. A partir daí, vários métodos de análise da composição corporal foram desenvolvidos a fim de facilitar o diagnóstico da gordura corporal subcutânea.

Segundo Garrow (1992) cit. Torres (1998), o método ideal “deve ser relativamente barato, e que forneça pouco incômodo ao avaliado; ser operado por técnicos capazes e render resultados altamente acurados e reproduzíveis”. Para isso, devemos ter um co-

nhecimento profundo da metodologia da técnica escolhida e dos critérios de autenticidade científica (validade, confiança e objetividade). Um teste é considerado válido quando ele mede tão precisamente o que se propõe a medir. A confiança ou fidedignidade e a objetividade estão relacionadas com a reproduzibilidade dos resultados tanto inter quanto intra-avaliador (Fernandes, 1999). Neste estudo a validade, fidedignidade e objetividade serão expressas através do coeficiente de correlação (r), o qual determina a força e o sentido da relação entre duas variáveis. Quanto mais próximo de 1,00 em ambos os sentidos, maior a força da correlação (Levin, 1987).

Este estudo tem como objetivo revisar algumas técnicas de análise da composição corporal dando ênfase aos critérios de autenticidade científica e através dela concluir qual o método ideal para a análise da composição corporal.

TÉCNICAS DE ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CORPORAL

Segundo Martin e Drinkwater (1991) estas técnicas são divididas em três grupos: diretos, indiretos e duplamente indiretos.

Análise Direta da Composição Corporal

O método direto apesar da elevada precisão tem sua utilização muito limitada, pois a análise é feita através da dissecação física (Figura 1) ou físico-química de cadáveres. No século XIX, seis anatomicistas alemães já realizaram estudos deste tipo com o objetivo de pesar alguns tecidos humanos (Clarys, Martin & Drinkwater, 1984). No total dez corpos foram dissecados, mas infelizmente quase nenhum dado foi relatado. Somente nos estudos de Bischoff (1863) e Van Leibig (1874) cit. Clarys, Martin & Drinkwater (1984), quatro corpos foram totalmente dissecados (um feminino e três masculinos) com idades de 22, 30, 33 e 45 anos e as causas de morte variaram de trauma físico, enforcamento e desconhecida. A preparação dos corpos não foi relatada. Valores médios são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados médios da composição corporal “*in vitro*” em adultos no séc. XIX.

	Peso (kg)	Pele (kg)	T. gorduroso (kg)	Músculo(kg)	Ossos (kg)	Órgãos(kg)
Média total (n=4)	64,3	4,0	11,4	26,1	11,2	11,7
Desvio Padrão	10,5	0,8	4,0	5,6	2,3	2,8

Já no século XX, aproximadamente 5 estudos foram desenvolvidos (Clarys, Martin & Drinkwater, 1984). Nestes estudos seis corpos foram completamente dissecados, mas apenas nos estudos de Mitchell (1945) e Forbes (1953, 1956) cit. Clarys, Martin e Drinkwater

(1984), quatro corpos masculinos não embalsamados tiveram seus dados corretamente relatados, com idades variando em 35, 46, 48 e 60 anos e as causas de morte foram doença cardíaca e fratura de crânio. Valores médios são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Dados médios da composição corporal “*in vitro*” em adultos no séc. XX.

	Peso (kg)	Pele (kg)	T. gorduroso (kg)	Músculo(kg)	Ossos (kg)	Órgãos(kg)
Média total (n=4)	65,0	4,9	8,7	24,9	10,3	16,1
Desvio Padrão	8,9	1,1	5,5	3,8	0,6	4,7

Devido à dificuldade em obter dados concretos dos estudos anteriores, Clarys et al.,(1987), desenvolveram um estudo conhecido como “The Brussels Cadaver Analysis Study”, o qual tinha três objetivos principais: (1) prover dados de peso e densidade da pele, tecido adiposo, músculos, ossos e órgãos; (2) investigar a validação de alguns métodos indiretos utilizados na estimativa da composição corporal *in vivo*; (3) prover novos modelos de análise da composição corporal. Este estudo foi dividido em duas partes, “the first Cadaver Analysis Study” (CAS 1) com 25 corpos, 12 embalsamados (seis homens e seis mulheres) e 13 não embalsamados (seis homens e sete mulheres) com idade entre 55 a 94 anos, e foi

iniciado em setembro de 1979 e finalizado em junho de 1980 (Tabelas 3 e 4) e “the second Cadaver Analysis Study” (CAS 2), com sete cadáveres embalsamados (quatro homens e três mulheres) de idade entre 16 e 80 anos e aconteceu em 1983. No total (CAS1 e CAS2) 34 corpos foram dissecados e separados por pele, tecido adiposo, músculos, ossos, órgãos e vísceras. Este estudo foi considerado único porque dados antropométricos e da composição anatômica foram coletados nos mesmos sujeitos. Além da dissecação, técnicas como antropometria, densitometria, fotografia, radiografia e osteometria também foram utilizadas (Clarys et al., 1987).

Tabelas 3. Dados médios da composição corporal masculina “*in vitro*” no CAS 1.

	Idade	Estatura	Peso	Pele	T. gorduroso	Músculo	Ossos	Órgãos
Média total (n=12)	72	169,1	66,2	3,7	18,5	25,1	9,3	9,5
Desvio Padrão	8	8,2	12,5	0,9	4,6	7,4	1,4	1,4

Tabela 4. Dados médios da composição corporal feminina “*in vitro*” no CAS 1.

	Idade	Estatura	Peso	Pele	T. gorduroso	Músculo	Ossos	Órgãos
Média total (n=13)	80	159,6	62,5	3,4	28,4	17,8	7,7	7,9
Desvio Padrão	7	6,9	9,4	0,4	7,0	3,0	0,8	1,3

No geral, os resultados mostram que as médias de peso dos tecidos livres de gordura de Brussels quando comparadas com os dados provenientes dos estudos do século XIX, foram similares, mas para os dados do século XX houveram grandes variações (Clarys et al., 1987). Especificamente no CAS1 o peso da pele variou de 2,5 kg para 5,5kg e 2,5 kg para 4,1 kg; o peso do tecido adiposo variou de 9,7 kg para 25,8 kg e 14,4 kg para 40,1 kg; o peso muscular variou de 15,8 kg para 40,4 kg e de 13,3 kg para 23,4 kg; o peso ósseo de 7,3 kg para 11,7 kg e 6,7 kg para 10 kg; e o peso dos órgãos variou de 6,3 kg para 11,1 kg e 6,3 kg para 10,8 kg para homens e mulheres respectivamente (Clarys, Martin & Drinkwater, 1984; Clarys et al., 1987). Este estudo teve grande importância para os estudiosos desta área, pois se observou uma grande variação na MLG entre os indivíduos, indo contra os achados dos estudos anteriores.



Figura 1- Dissecção física de cadáveres

A Pesagem Hidrostática (Figura 2) é considerada o método de referência, sendo chamado pelos pesquisadores de “gold standard” da análise da composição corporal. Sua fidelidade é excelente $r = 0,99$ (Ward et al., 1978 cit. Wagner & Heyward, 1999). É muito utilizada para validar as técnicas duplamente indiretas. Ela considera que o corpo é formado por dois componentes distintos, massa de gordura (MG) e massa livre de gordura (MLG) (Lukaski, 1987). A densidade corporal (DC) é determinada através da relação do peso no ar e o peso na água (McArdle, Katch & Katch, 1998). Mas, variáveis como gás gastrointestinal, volume residual e

densidade da água, devem ser controladas, pois interferem diretamente nos valores da DC.

Sabendo o valor da DC é possível estimar o percentual de gordura corporal (%GC) através dos modelos matemáticos de Siri (1956) e Brozek (1963) cit. McArdle, Katch e Katch, 1998. Estes modelos foram baseados nos estudos iniciais de cadáveres, os quais supunham que a MLG era constante ($1,10 \text{ g/cm}^3$) e como isso não é totalmente verdadeiro, varia conforme a idade, gênero, etnicidade, nível de gordura corporal e nível de atividade física (Baugartner et al., 1991; Williams et al., 1993 cit. Wagner & Heyward, 1999 e Roche, 1996 cit. ACSM'S, 2000). E, segundo o ACSM'S (2000), a densidade da MLG também varia de indivíduo para indivíduo de um mesmo grupo (gênero, idade e etnicidade), resultando um erro de aproximadamente 2%. A PH tem excelente precisão para medidas da DC, mas o exame é demorado e requer muita cooperação do avaliado, sendo necessária a adaptação ao meio líquido (Wagner & Heyward, 1999).



Figura 2. Equipamento de PH

Plestimografia

A Plestimografia estima o volume corporal através do deslocamento de ar. Determinado o volume corporal a DC poderá ser estimada e em seguida o % GC. Esta técnica obtém uma excelente correlação com a PH para valores do %GC ($r = 0,96$) em homens e mulheres de diferentes idades, nível de gordura corporal e etnicidade (Megan et al., 1995). A fide-

dignidade gerou uma variação de apenas 1,7% \pm 1,1% para o %GC (Megan et al., 1995).

O Bod Pod® (Figura 3) é definido por Guedes & Guedes (1998), como sendo um instrumento construído de fibra de vidro com um computador acoplado, o qual determina as variações no volume de ar e de pressão interior para a câmara vazia e ocupada e faz ajustes para variáveis pulmonares necessárias na estimativa do volume corporal. A vantagem desta técnica em relação à pesagem é o menor tempo para realizar a medida, 3 a 5 min. contra 30 a 60 min. e a menor cooperação do avaliado (Howley & Franks, 2000). As desvantagens citadas por Wagner & Heyward (1999) são: o elevado custo operacional e a mesma suposição para converter DC para %GC, a qual limitou a pesagem hidrostática.



Figura 3. Equipamento de Plestimografia (Bod Pod®)

Absortometria Radiológica de Raio X de Dupla Energia (DEXA)

Esta técnica baseia-se na suposição de que o corpo é formado por 3 compartimentos, gordura, mineral ósseo e tecido magro não ósseo, todos com densidades diferentes (Kohrt, 1995 cit. Foss & Keteyian, 2000). Utiliza o raio x em vez do isótopo gadolíneo – 153 (153 Gd) como a absortometria de fóton duplo (DPA) (Lohman, 1992). O raio x de DEXA tem potência constante e um filtro de extremidade cerium (K), para gerar dois picos de energia (40 KeV e 70 KeV) (Mazess, et al., 1990 cit. Wagner & Heyward, 1999). Com isso, a atenuação do tecido mole pode

ser medida em vez de estimada (Roubenoff et al., 1993 cit. Wagner & Heyward, 1999). O fluxo de fóton de um feixe de raio x é maior que o fluxo de fóton do isótopo 153 Gd tendo como vantagem reduzir o tempo do exame e a radiação (Wagner & Heyward, 1999). O DEXA (Figura 4) é altamente confiável. O erro padrão de estimativa (EPE) para o conteúdo do mineral ósseo total e para a densidade mineral óssea, é de 50 g e < 0.01 g/cm², ou 1.8% e 0,8%, respectivamente; e tem uma boa correlação para o % GC estimado por PH e DEXA ($r = 0,90$) (Mazess et al., 1990 cit. Wagner & Heyward, 1999). Lohman (1992), relatou um erro técnico de 1,2 a 4,8%. Esta técnica tem o potencial para resultados muito precisos, seja qual for a idade, sexo, ou raça do avaliado. Mas, segundo Ma et al (1999) cit. Ellis (2000), quando mesmos sujeitos são submetidos a exames de DEXA com instrumentos de fabricantes diferentes, diferenças nas estimativas da composição corporal são observadas. É muito eficaz para analisar compartimentos individuais do corpo, pois permite a análise segmentar, como, por exemplo, medir o tecido ósseo e não ósseo do braço dominante e não dominante de jogadores profissionais de tênis profissional (Calbet, Moysi, Dorado & Rodrigues, 1998 cit. Wagner & Heyward 1999). É um forte candidato à “gold standard” da composição corporal. Mas, ainda aguarda a aprovação da FDA (Food and Drug Administration), órgão americano responsável em aprovar o método para utilização legal. Alguns fatores limitantes, como custo excessivo do equipamento (U\$ 65.000) e exposição à radiação, devem ser levados em consideração.

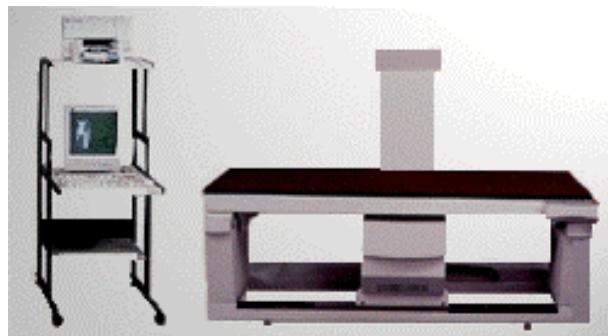


Figura 4. DEXA - Modelo Hologic QDR 4500c

Ultra-Sonografia (US)

A US (Figura 5) utiliza um instrumento para converter a energia elétrica através de uma sonda e um receptor em ondas sonoras de alta freqüência. Essas ondas sonoras são transmitidas para o corpo em forma de ritmos curtos. As ondas sonoras passam através do tecido adiposo, da camada muscular e são refletidas após a reflexão em uma superfície óssea, produzindo um eco, o qual retorna para a sonda (McArdle, Katch & Katch 1998). Como essas ondas encontram-se perpendiculares nas interfaces dos tecidos, os quais diferem em propriedades acústicas, parte da energia é refletida ao receptor na sonda e é transformada a energia elétrica. A US pode mapear a espessura do músculo e da gordura nas diferentes regiões corporais e quantificar as mudanças no padrão topográfico da gordura (Ishida, 1995 cit. McArdle, Katch & Katch, 1998). Este método obteve uma boa correlação com a PH ($r = 0,779$ e EPE = 0,0083 g/cc) (Fanelli & Kuczmarski, 1984 cit. Lukaski, 1987). A fidedignidade de US é maior que 0,85 (McArdle, Katch & Katch, 1998). Algumas limitações como custo e dificuldade técnica têm restringido o seu uso, mas é muito utilizada em pacientes hospitalizados, para avaliar o estado nutricional durante os períodos de redução e aumento de peso.



Figura 5. US Modelo RSNA 2001

Tomografia Computadorizada (TC)

A TC (Figura 6) relata as pequenas diferenças em atenuação do raio x para as diferentes densidades dos tecidos, construindo uma imagem bidimensional em corte transver-

sal da anatomia subjacente do corpo (McArdle, Katch & Katch, 1998). Em um estudo, Rössner et al (1990) cit. Van der Kooy e Seidell (1993), correlacionaram os mesmos pedaços de áreas do tecido adiposo de cadáveres com humanos ($r = 0,90$). Esta técnica tem excelente reprodutibilidade, segundo Kvist et al. (1986) e Shuman et al. (1986) cit. Van der Kooy e Seidell (1993) a variabilidade encontrada de vários "scans" foi de 0,6 % para 1,4%. Déspres (1991) cit. McArdle, Katch e Katch (1998), avaliam a relação entre as medidas antropométricas na região abdominal (pregas cutâneas e circunferência) com o volume total do tecido adiposo mapeado por TC. A correlação foi significativa ($r = 0,82$) entre a circunferência da cintura (CC) e o tecido adiposo abdominal profundo medido por TC. Este estudo concluiu que homens com maior CC têm uma maior quantidade de tecido adiposo visceral, favorecendo a utilização da CC no controle do tecido adiposo abdominal. Lukaski (1987) cita alguns fatores limitantes ao uso de TC como exposição à radiação, principalmente em mulheres grávidas e crianças, o alto custo do equipamento além da necessidade de técnicos especializados.



Figura 6. Exame de TC

Ressonância Magnética (RM)

Nesta técnica (Figura 7) um poderoso campo magnético (radiação eletromagnética) irradiado por pulsos de freqüência de radio, exerce os núcleos de hidrogênio da água corporal e das moléculas lipídicas e gera imagens das variáveis intrínsecas do tecido (McArdle, Katch & Katch, 1998). Isto é possível devido à alta afinidade dos núcleos de hidrogênio com o campo magnético (Ellis, 2000). Quando a energia

da freqüência de radio é aplicada perpendicular a direção do campo magnético, os núcleos absorverão esta energia e modificarão o seu alinhamento. Quando a freqüência de radio é desligada o núcleo irá perder seu alinhamento e liberará a energia armazenada. A intensidade deste sinal pode ser usada para medir o número de núcleos de hidrogênio do tecido (Ellis, 2000). Os sinais emitidos são colecionados por um receptor de RM e armazenados no computador (Van der Kooy & Seidell, 1993). Esse processo pode ser repetido em cada posição ao longo do corpo até o corpo todo ser mapeado e uma imagem de corte transversal de cada parte pode ser gerada (Ellis, 2000). Esta técnica é utilizada para quantificar o tecido adiposo total e subcutâneo em indivíduos com diferentes níveis de gordura corporal (McArdle, Katch & Katch, 1998). Segundo Going (1995) e McNeill (1991) cit. McArdle, Katch & Katch (1998) a validade de RM para valores do %GC por PH é boa ($r = 0,84$). Esta técnica tem a vantagem de não usar radiação iônica. Mas, devido ao custo elevado e a dificuldade técnica (Lukaski, 1987), é mais utilizada em hospitais para diagnóstico médico (McArdle, Katch & Katch 1998).



Figura 7. Equipamento de RM

Condutividade Elétrica Total (TOBEC)

A TOBEC foi desenvolvida para medir a composição corporal, através da condutividade elétrica, onde o corpo é envolvido por um rolo eletromagnético. A medida é baseada na mudança da energia do rolo com a passagem do corpo pelo campo magnético (Lohman, 1992). Dois instrumentos comerciais foram desenvolvidos, o EM – Scan e Springfield, IL, um para crianças e o outro para adultos (Ellis, 2000). Segundo Presta et al. (1983) cit. Lukaski

(1987) a fidedignidade deste método é excelente ($r = 0,99$) e a correlação para estimativas da MLG através da antropometria, TBW e potásio corporal total e PH é de 0,69, 0,86, 0,87 e 0,90 respectivamente. Medidas de TOBEC têm sido utilizadas principalmente para monitorar modificações na composição corporal em mulheres durante a gravidez ou lactação (Butte et al., 1997 e Motil et al., 1998 cit. Ellis, 2000), em crianças normais e obesas (Butte et al., 1995; Debruin et al., 1995; Silliman et al., 1995; Klish et al., 1995 e Pivarnik et al., 1995 cit. Ellis, 2000). Segundo Lukaski (1987), apesar da dificuldade técnica deste método ser pequena o custo altíssimo do equipamento (U\$ 70.000), é sem dúvida o fator limitante para o uso do TOBEC.

Análise de Ativação de Nêutrons (NAA)

A NAA é a única técnica atualmente disponível, baseada nas reações nucleares, para medir os elementos múltiplos da composição do corpo humano (cálcio, sódio, cloro, fósforo e nitrogênio) (Lukaski, 1987). A primeira aplicação foi através da determinação do cálcio corporal total (TBCa). O cálcio é uma fração relativamente constante do peso do mineral ósseo (38-39%); então estimativas do TBC podem ser utilizadas para quantificar o mineral ósseo corporal total. Mas, variáveis como idade, gênero, altura e MLG, devem ser levadas em consideração a fim de reduzir a variabilidade desta técnica de 15-18% para 5-8% em amostras heterogêneas (Cohn et al., 1972 cit. Lukaski, 1987). Uma outra aplicação desta técnica é através da medida do nitrogênio corporal total (TBN), a qual tem sido valiosa para a determinação da composição corporal de indivíduos saudáveis e portadores de doenças. Medidas de TBN podem estimar a massa muscular e não muscular com seus respectivos conteúdos de proteína usando modelos matemáticos. E, conhecendo esses valores, pode-se calcular a gordura corporal através da diferença (Lukaski, 1987). Segundo Ellis (2000), a precisão para TBCa é de 1-2% e 3-4% para TBN. A dose de radiação para medidas de TBN é relativamente pequena (<0.3 mSv), enquanto que para TBCa é substancialmente alta (>3 mSv). Implicações como elevado custo (U\$ 400.000),

necessidade de operadores qualificados, dificuldade de locomoção e radiação, dificultam a aplicação desta técnica para a análise da composição corporal (Lukaski, 1987).

Hidrometria (TBW)

É um método invasivo de estimativa da água corporal total (TBW), devido à necessidade de ingerir ou aplicar uma substância no indivíduo (isótopo de hidrogênio) a qual será distribuída igualmente por toda a água contida no corpo. Os isótopos geralmente mais utilizados são: o deutério ou óxido deutério (D_2O) e oxigênio – 18, não radiativos e o trítio (3H_2O) radioativo (Howley & Franks, 2000). Devido à variabilidade individual da TBW do compartimento MLG (2%), Siri (1961) cit. Lohman (1992) estimou um erro de 2,6%G para população específica e de 3,6%G para população geral. A MLG obtida pela PH (MLG_d) e pela TBW (MLG_H), foram correlacionada obtendo um $r = 0,97$ e um EPE= 2,7 kg para a MLG_d e de 2,5 kg para MLG_H (Van Loan et al., 1990 cit. Lohman, 1992). A fidedignidade desta técnica é excelente, a média da variação da TBW é de 1,1% a 2% no intervalo de 14 dias (Lohman, 1992). Variáveis que intervêm na medida da MLG por variar o conteúdo de água devem ser controladas. Em adultos saudáveis a TBW constitui aproximadamente 73% da MLG ou 60% do peso corporal (Kotler et al., 1999 cit. Ellis, 2000). Porém estes valores não são constantes por toda a vida e variam conforme doenças (Fomon et al., 1967; Kotler et al., 1999 e Schoeller, 1991 cit. Ellis, 2000). Por isso este método deve ser utilizado com cuidados para idosos, adolescentes e crianças, devido à variação no conteúdo de água destes indivíduos (Lohman, 1992). O custo, a necessidade de técnicos especializados e a dificuldade da análise são considerados limitações deste método (Lukaski, 1987 e Wagner & Heyward, 1999).

Excreção Urinária de Creatinina

Hoberman (1948) cit. Lukaski (1987) demonstrou a relação direta da creatinina corporal com a produção da creatinina urinária, usando diluição isotópica de nitrogênio-15. Com

isso, foi reconhecido o relacionamento da excreção urinária com a massa livre de gordura e a massa muscular. Mas, alguns fatores têm afetado a validade deste método, como por exemplo, a variação intra-individual (11 a 20 %) atribuída ao processamento renal da creatinina. Quando a MLG é estimada pela excreção de creatinina, o erro é alto (3 - 8 kg) quando comparado com os valores da PH e contagem de potássio (Lukaski, 1987).

Potássio Corporal Total (TBK)

Este método tem o objetivo de estimar a MLG através da contagem de potássio existente no corpo pela técnica de espectrometria de raios gama. Grande parte do potássio orgânico encontra-se sob forma de íons de potássio (K^+), com proporções relativamente constantes do isótopo radioativo de potássio (^{40}K) para a MLG, 60 a 66 mmol/kg para mulheres e homens respectivamente (Forbes, 1987 cit. Guedes & Guedes, 1998). Então, ao se estabelecer a quantidade de potássio corporal total, pode-se estimar a MLG (Guedes & Guedes, 1998). A quantificação do potássio corporal total requer um contador especialmente construído que consiste em um espaço grande protegido da radiação, contendo um sistema de detecção de raios gama conectado a um dispositivo gravador (Lukaski, 1987). Ellis & Shypailo (1992 e 1993) cit. Ellis (2000) cita um contador de corpo total localizado em *Baylor College of Medicine*, o qual foi projetado para variadas medidas de potássio desde bebês recém-nascidos com peso muito baixo até adultos obesos. Esta técnica tem sua utilização limitada devido ao alto custo e à dificuldade técnica (Lukaski, 1987).

Análise Duplamente Indireta da Composição Corporal

As técnicas duplamente indiretas são menos rigorosas, têm uma melhor aplicação prática e um menor custo financeiro, podendo ser aplicadas em ambiente de campo e clínico. São utilizadas em grande escala para a avaliação da composição corporal. Destacamos como exemplo: a antropometria, a análise de

impedância bioelétrica (BIA), incluindo a Tanita e o Omron, e a interactância quase-infravermelha (NIR).

Antropometria

A antropometria é a ciência que estuda e avalia as medidas de tamanho, peso e proporções do corpo humano (Fernandes, 1999). Dentro desta ciência encontramos medidas de peso e altura, diâmetros e comprimentos ósseos, espessuras das dobras cutâneas (DOC), circunferência e alguns índices que avaliam o risco de desenvolver doenças. Dentre eles podem citar: índice de massa corporal (IMC) ou de Quetelet, índice de conicidade (IC) e índice da relação cintura e quadril (IRCQ).

O **IMC** é calculado dividindo a massa corporal (kg) pela estatura ao quadrado (m^2). Valores iguais ou maiores que 27,8 kg/m² para homens e 27,3 kg/m² para mulheres, estão associados ao risco de mortalidade significantemente maior (ACSM'S, 1991 cit. Adams, 1994). Mas este índice não leva em consideração a composição proporcional do organismo. Norton & Olds (1996) citam uma correlação de 0,50 e 0,80 para PH e antropometria.

O **IC** é também um índice que tem por objetivo identificar a distribuição da gordura e o risco de doenças (Valdez et al., 1993). Este índice baseia-se na idéia de que o corpo humano muda do formato de um cilindro para o de um “cone duplo” com o acúmulo de gordura ao redor da cintura. A faixa teórica vai de 1,00 a 1,73 e é calculada através da seguinte equação: $CC / 0,109 \sqrt{PC / AL}$ onde: CC = circunferência da cintura (m); PC = peso corporal (kg); AL = altura (m). Valdez et al. (1993) descreve uma correlação entre IC e IRCQ de $r=0,64 - 0,86$.

O **IRCQ** é fortemente associado à gordura visceral (Ashwell et al., 1985; Seidell et al., 1987, cit. Heyward & Stolarczyl, 2000) e parece ser um índice aceitável de gordura intra-abdominal (Weits, 1988 e Jakicic, 1994 cit. Heyward e Stolarczyl, 2000). A equação divide a circunferência do abdômen (cm) pela circunferência do quadril (cm). Este índice tem uma boa confiabilidade ($r = 0,92$) (Wing, 1992 cit. Norton & Olds, 1996). Segundo Alexander e Dugdale (1990); Jakicic et al. (1993) cit. Norton e

Olds (1996) e Queiróga (1998) há uma pequena confusão sobre o local da medida da CC e da CQ. Norton e Olds (1996) padronizam a medida da CC como o ponto entre a costela inferior e a crista ilíaca e para CQ o ponto de maior protuberância. Valores limítrofes para um maior risco variam de 0.91 a 1.00 para homens e 0.80 a 0.91 para mulheres (Norton & Olds, 1996).

O método de **DOC** tem sido muito utilizado para estimar o %GC em situações de campo e clínica, devido a sua fácil utilização e custo relativamente baixo quando comparado às outras técnicas. Mas, segundo Pollock e Jackson (1984) cit. Poolock e Wilmore (1993), medidas da DC através do método de DOC estão sujeitas a um grande erro. Diferenças de até 3% no %GC estimado ou até 12 mm para um único ponto podem ser encontradas mesmo com indivíduos experientes (Lohman & Wilmore, 1979 cit. Pollock & Wilmore, 1993). Mas quando os avaliadores padronizam as medidas o erro cai para menos de 1% para valores do %GC (Pollock & Jackson, 1984 e Pollock et al., 1986 cit. Pollock & Wilmore, 1993). Segundo ACSM'S (2000) a composição corporal pelo método de DOC quando correlacionado com PH obteve um $r= 0,70$ a $0,90$.

As primeiras equações para análise da composição corporal através de medidas antropométricas foram divulgadas por Brozek e Keys em 1951 cit. Pollock & Wilmore (1993). Hoje, existem inúmeras equações específicas e generalizadas para predizer a gordura corporal pelo método de DOC. Dentre elas destacam-se as equações generalizadas de Jackson & Pollock (1978 e 1980) as quais foram validadas para homens com idade entre 18 e 61 anos e para mulheres entre 18 e 55 anos. Variáveis como somatório de 3 ou 7 dobras e idade são utilizadas. O coeficiente de correlação (r) para valores de DC pelo método de PH e as equações de regressão é de 0,92 e 0,87 para homens e mulheres respectivamente (Pollock & Wilmore, 1993). As equações de Siri (1956) e Brozek (1963) cit. Pollock & Wilmore (1993) são geralmente utilizadas para converter a DC em % GC. Mas, como estas equações foram definidas através da suposição de uma constante densidade para MLG, outras equações para populações específicas vêm sendo desenvolvi-

das: mulheres índias americanas, negros, hispânicos, japoneses nativos, brancos, mulheres anorexias e homens obesos (ACSM'S, 2000). No Brasil alguns estudiosos como Guedes (1985) e Petroski (1995), desenvolveram e validaram equações para estimativa da DC através do método de DOC.

Análise de Impedância Bioelétrica (BIA)

Este método baseia-se na condução de uma corrente elétrica de baixa intensidade (500 a 800 μ A e 50 kHz) através do corpo. A impedância (Z) ou resistência ao fluxo da corrente elétrica é medida pelo analisador de BIA. Como Z varia de acordo com o tecido que está sendo medido, por exemplo, a MCM é um bom condutor de energia; devido a sua alta concentração de água e eletrólitos e a MG é um mal condutor de energia, um indivíduo com uma grande quantidade de MCM terá uma menor resistência à corrente elétrica, ou seja, um menor valor de Z (Wagner & Heyward, 1999); então podemos dizer que Z é diretamente proporcional ao percentual de gordura corporal. O analisador de BIA é um aparelho tetrapolar, o qual utiliza quatro eletrodos (dois condutores colocados na mão e no pé e dois receptores colocados no punho e no tornozelo). Estes podem ser mono-freqüências (*single-frequency bioelectrical impedance analyser* – SFBIA) ou multi-freqüências (*multi-frequency bioelectrical impedance analyser* – MFBIA). Os aparelhos SFBIA utilizam uma freqüência fixa de 50 kHz ou 100 kHz com uma corrente alternada constante de 300 – 800 μ A e medem o volume da água extra-celular. Os equipamentos MFBIA também geram corrente alternada constante de 300 – 800 μ A a freqüências de 1 – 1300 kHz e medem além do volume extra-celular, o volume intra-celular. Dependendo do aparelho o número de freqüências utilizadas pode variar (Neves, 2000). Os modelos multifreqüenciais já estão no mercado, mas custam quase duas vezes mais e estão sendo usados apenas para pesquisas laboratoriais (Heyward & Stolarczyl, 2000).

A validade e a precisão do método de BIA são influenciadas por vários fatores como

tipo de instrumento, colocação do eletrodo, nível de hidratação, alimentação e prática de exercícios anteriores ao teste e ciclo menstrual, temperatura ambiente e equação de predição (Heyward & Stolarczyl, 2000). Várias equações de BIA foram desenvolvidas para crianças, idosos, índios americanos, hispânicos, brancos, obesos e atletas e consequentemente cada uma obteve a sua validação com r variando de 0,60 a 0,98 e EPE de 1,37 a 3,47 (Kushner, 1992).

Para não comprometer o resultado da análise da composição corporal por BIA, cuidados prévios devem ser levados em consideração como: não comer ou beber antes de 4 h do teste; não fazer exercícios 12 h antes do teste; urinar 30 min. antes do teste; não consumir álcool 24 h antes do teste; não fazer uso de medicamentos diuréticos nos últimos 7 dias; ter certeza de que não está retendo líquido devido ao ciclo menstrual (Heyward & Stolarczyl, 2000).

A **Tanita** (Figura 8) e o **Omron** (Figura 9) são equipamentos recentemente comercializados que utilizam também o fluxo da corrente elétrica para estimar o % de gordura corporal. A Tanita utiliza o contato dos pés em uma plataforma medidora, a qual envia uma corrente elétrica de 500 μ A a uma freqüência de 50 kHz através das pernas e do tronco. O indivíduo fica em posição ereta, com quatro eletrodos dispostos no calcaneo e na sola dos pés (Jebb et al., 2000). Existem mais de dezesseis modelos diferentes de Tanita, todos ainda em processo de validação. Alguns estudiosos têm testado a validade de Tanita. Quando correlacionada com PH obteve $r = 0,94$ e $0,78$ (Hanier et al., 1995 e Utter et al., 1999).

O Omron utiliza o contato das mãos para emitir a corrente elétrica (500 μ A, 50 kHz) através dos braços e do tronco. O avaliado em pé coloca suas mãos no local do eletrodo e eleva os braços à sua frente formando um ângulo de 90° entre os braços e o tronco. Arratibel (1999) demonstrou em seu estudo que este instrumento pode ser tão válido quanto as medidas DOC. Ambos têm a vantagem do baixo custo, facilidade de aplicação e portabilidade. Mas, apesar de serem utilizados em ambientes clínicos e esportivos, ainda estão em processo de validação.



Figura 8. TANITA modelo TBF 310



Figura 9. OMRON modelo HBF 300

Interactância Quase-infravermelha (NIR)

Esta técnica é baseada nos princípios de absorção e reflexão da luz através da densidade óptica (DO), usando um espectrofotômetro quase infravermelho (Lukaski, 1987). A suposição baseada neste princípio, é que medidas de interactância podem caracterizar a composição corporal do lugar medido (Brooke-Wavell et al., 1995). A quantidade de energia refletida e absorvida dependerá do grau de dispersão e absorção desta amostra (Lukaski, 1987). Se a gordura corporal absorve luz e a MCM reflete luz e a luz refletida é convertida para em DO podemos dizer que uma maior absorção de luz infravermelha é igual a uma menor DO. Ou seja, a DO é inversamente proporcional ao percentual de gordura corporal.

A validação deste método ($r = 0,84$; $0,95$ e $0,94$ para homens, mulheres e ambos, respectivamente) foi obtida no estudo inicial de Conway, Norris e Bodwell (1984) através de um instrumento altamente preciso de 6 nm. Em 1987, Conway e Norris cit. Heyward & Stolarczyk, (2000), sugeriram o desenvolvimento de um outro instrumento, menos preciso (50 nm) para pesquisas de campo, surgindo o Futrex. Mas, como pesquisas de validação não foram feitas com este equipamento, a empresa responsável promoveu esta técnica como um método válido. Porém, pode ter fornecido resul-

tados errôneos para muitos indivíduos (Lohman, 1992). A empresa do Futrex desenvolveu três modelos, chamados de Futrex 1000, 5000 e 6000. O Futrex 1000 (Figura 10) foi desenvolvido para o uso pessoal e apresenta um grande EPE = 4,5% GC; o 5000 (Figura 11) é de uso profissional e possui três modelos diferentes. Todos estimam o % de gordura corporal, MCM e água corporal. O 6000/XL (Figura 12) é uma versão mais avançada do Futrex 5000/XL. O local de mensuração para qualquer equipamento é na linha média anterior acima do ventre muscular do bíceps do braço dominante (Quatrocchi et al., 1992; Conway & Norris, 1987 cit. Heyward & Stolarczyk, 2000). Pesquisas demonstram alta fidedignidade para estimativa da DO ($r = 0,95$ a $0,97$) e do %G ($r = 0,91$ a $0,95$). A objetividade de NIR variou entre 2,2 e 2,4% (Heyward & Stolarczyk, 2000). Equações de predição do fabricante Futrex não são recomendadas por alguns autores, devido ao grande erro de predição, variando de 3,7 % a 6,3% de GC (Heyward et al., 1992; Hicks et al., 1993). Mais estudos são necessários para determinar a validade do Futrex.



Figura 10. FUTREX 1000



Figura 11. FUTREX 5000



Figura 12. FUTREX 6000

CONCLUSÃO

O método de dissecação de cadáveres é a única maneira direta de medir a composição corporal, mas problemas éticos, preparação dos corpos, pessoal especializado, etc, explicam a dificuldade destes estudos. A técnica de PH, apesar de ser até hoje o padrão da composição corporal, tem sido criticada por alguns estudiosos quanto a sua validade (Baugartner et al., 1991; Williams et al., 1993 cit. Wagner & Heyward, 1999). O Bod Pod tem algumas vantagens, mas segundo Wagner & Heyward (1999), a mesma suposição da PH é um fator limitante. O DEXA é altamente confiável, mas o custo elevado, a necessidade de operadores especializados e exposição à radiação dificultam a sua aplicação (Wagner & Heyward, 1999). A US e a RM devido ao custo excessivo, são mais utilizadas para diagnóstico médico em hospitais e clínicas especializadas (McArdle, Katch & Katch, 1998). A TC não é muito utilizada quando o objetivo é medir a composição corporal devido ao alto custo, dificuldade técnica e exposição à radiação, mas é muito útil para diagnosticar tumores orgânicos (Lukaski, 1987). O TOBEC perdeu espaço no mercado para a bioimpedância tetrapolar devido ao seu altíssimo custo. A NAA, TBW, excreção urinária de creatinina e TBK são métodos invasivos e necessitam de operadores muito qualificados sendo somente utilizadas em laboratórios totalmente especializados. Apesar da grande aceitação do método de DOC a padronização da medida é de grande importância para reduzir o erro inter e intra avaliador. A bioimpedância tetrapolar pode ser um bom meio para estimar a composição corporal se o avaliador respeitar o controle prévio às medidas. A Tanita, o Omrom e Futrex ainda precisam de mais estudos de validação. Esta revisão conclui que cada método tem seus *prós* e *contras* e consequentemente seu valor. O valor é dado quando percebemos que o método escolhido será o meio ideal para suprir a necessidade do avaliado ou do avaliador. Este não precisa ser relativamente barato ou operado por técnicos capazes como citado por Garrow (1992) cit. Torres (1998) e sim aquele que irá atingir nossos objetivos em um determinado momento para uma determinada população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABESO (2001). **Órgão Informativo da Associação Brasileira para o Estudo da Obesidade.** 2(2), 6-7.
- ACSM'S (2000). **Guindelines for Exercise Testing and Prescription.** Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Adams, G. M. (1994). **Exercise Physiology.** Laboratory Manual. WCB.
- Arratibel, I. et al. (1999). Estudio de la reproductibilidad en la medición del porcentaje graso con análisis por impedancia bioeléctrica con dos puntos de contacto en las manos. **I Congresso Iberoamericano de Ciencias del Deporte.** Santa Cruz de la Sierra - Bolivia.
- Brooke-Wavell, et al., (1995). Evaluation of Near-infrared interactance for assessment of subcutaneous and total body fat. **European Journal of Clinical Nutrition**, 57-65.
- Clarys, J .P. et al., (1987). The skinfold: myth and reality. **Journal of sports sciences**, 5, 3-33.
- Clarys, J. P., Martin, A. D., Drinkwater, D.T. (1984). Gross Tissue Weights in the Human Body By Cadaver Dissection. **Human Biology**, 56 (3), 459-473.
- Conway, J. M., Norris, K.H., Bodwell, C. E. (1984). A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. **American Jornal of Clinical Nutrition**, 1123-1130.
- Ellis, K. J. (2000). Human Body Composition : In Vivo Methods. **American Physiological Society.** 80 (2), 649-680.
- Fernandes, J. F. (1999). **A Prática da Avaliação Física.** RJ: Shape.
- Foss & Keteyian. (2000). **Bases Fisiológicas do Exercício e do Esporte.** RJ: Guanabara Koogan.
- Guedes D.P. (1985). Estudo da Gordura Corporal Através da Mensuração dos Valores de Densidade Corporal e da Espessura de Dobras Cutâneas em Universitários. **Kinesis.**1(2) 183-212.
- Gustat, J. et al. (2000). Relation of Abdominal Height to Cardiovascular Risk Factors in Young Adults. **American Journal of Epidemiology.** 151, 885-891.
- Hanier V. et al., (1995). Bod Fat assessment by a new bipedal bioimpedance instrument in normal weight and obese women. **Sb Lek.** 96(3), 249-256.
- Heyward, V. H. et al., (1992). Predictive accuracy of three field methods for estimating relative body fatness of nonobese and obese women. **International Journal of Sport Nutrition**, 75-86.
- Heyward, V. H. & Stolarczyk, L. M. (2000). **Avaliação da composição corporal.** SP:Manole.

- Hicks, V. L., et al., (1993). Validation of near-infrared interacttance and skinfold methods for estimating body composition of American Indian women. **Medicine and Science in Sports and Exercice**, 32 (2), 531-539.
- Howley E. T. & Franks B. D. (2000). **Manual do Instrutor de Condicionamento Físico para saúde**. Porto Alegre: Artmed.
- Jackson A.S. & Pollock M.L. (1978). Generalized equations for predicting body density of men. **Br. J. Nutr.** 40, 497-504.
- Jackson A.S. & Pollock M.L. (1980). Generalized equations for predicting body density of women. **Medicine and Science in Sports and Exercise**. 12(3), 175-183.
- Jebb et al. (2000). Evaluation of the novel Tanita body fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. **Br J of Nutr.** 83(2), 115-22.
- Kushner, R. F. (1992). Bioelectrial Impedance Analysis: A Review of Principles and Applications. **Journal of American College of Nutriation**, 11(2), 199-209.
- Levin, J. (1987). **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. São Paulo: Editora Harbra.
- Lohman, T. G. (1992). **Advances in Body Composition Assessment. Current Issues in Exercise Science**. Champaing, Illinois: Editora Human Kinetics Publishers.
- Lukaski, H. C. (1987). Methods for assessment of human body composition: traditional and new. **American Society for Clinical Nutrition**, 537-556.
- Martin, A. D. & Drinkwater, D. T. (1991). Variability in the measures of body fat – Assumptions or Techique? **Sports Medicine**, 11 (5), 277-288.
- McArdle, Katch & Katch (1998). **Fisiologia do Exercício, energia, nutrição e desempenho humano**. RJ: Guanabara Koogan.
- Megan, et al., (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. **Medicine and Science in Sports and Exercice**.
- Neves, C.E.B. (2000). **Medição da Composição Corporal por Bioimpedância Bipolar em Resposta a um Degrau de Tensão**. Dissertação de Mestrado, Mestrado Engenharia Biomédica, UFRJ, RJ.
- Norton K. & Olds T. (1996). **Antropométrica**. Rosário: Biosystem.
- Petroski, E. L. (1995). **Desenvolvimento e validação de equações generalizadas para a estimativa da densidade corporal em adultos**. Tese de Doutorado, Doutorado em Ciência do Movimento, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Marina, RS.
- Pollock M.L. & Wilmore J.H. (1993). **Exercício na Saúde e na Doença**. Rio de Janeiro: Medsi.
- Quattrochi, et al., (1992) Relationship of optical density and skinfold measurements: effects of age and level of body fatness. **Research Quarterly for Exercise and Sports**.
- Queiróga M.R. (1998). Utilização de Medidas Antropométricas para a determinação da distribuição de Gordura Corporal. **Atividade Física e Saúde**. 3(1) 37-47.
- Torres, M. (1998). **Estudo comparativo de métodos para predição do percentual de gordura corporal: Uma abordagem do método de Dotson e Davis (1991)**. Dissertação de Mestrado, Mestrado em Ciência da Motricidade Humana, UCB, RJ.
- Utter A.C. et al., (1999). Use of the Leg-to-Leg Bioelectrical impedance Method in Assessing Body Composition Chande in Obese women. **American Journal of Clinical Nutrition**. 69, 603-607.
- Valdez, R., et al., (1993). A new index of abdominal adiposity as na indicator of risk for cardiovascular disease. A cross-population study. **International Journal of Obesity**, 17, 77-82.
- Van der Kooy, K. & Seidell, J. C. (1993). Techniques for the measurement of visceral fat: a practical guide. **International journal of obesity**.
- Wagner, D. R. & Heyward, V. H. (1999). Techniques of Body Composition Assessment: A Reviw of Laboratory and Fiel Methods. **American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance**. 70 (2), 135-149.

Endereço do autor

Ana Beatriz Monteiro
R. Guilherme Batista, 405, apto. 202, Recreio.
CEP: 22790-160 - Rio de Janeiro – RJ – Brasil
marcobiamonteiro@aol.com