

Parte I - Métodos em epidemiologia nutricional

9 - Gasto energético: medição e importância para a área de nutrição

Luiz Antonio dos Anjos
Vivian Wahrlich

SciELO Books / SciELO Livros / SciELO Libros

ANJOS, LA., and WAHRLICH, V. Gasto energético: medição e importância para a área de nutrição. In: KAC, G., SICHIERI, R., and GIGANTE, DP., orgs. *Epidemiologia nutricional* [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ/Atheneu, 2007, pp. 165-180. ISBN 978-85-7541-320-3. Available from SciELO Books <<http://books.scielo.org>>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International license](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença [Creative Commons Atribuição 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia [Creative Commons Reconocimiento 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

9

Gasto Energético: medição e importância para a área de nutrição

Luiz Antonio dos Anjos e Vivian Wahrlich

Os dados sobre o sobrepeso/obesidade na população brasileira demonstram um crescimento na sua prevalência nas últimas três décadas do século XX. Apesar da carência de dados detalhados sobre a ingestão energética e, particularmente, do Gasto Energético (GE) (Anjos, 1999), é evidente que a população se apresenta em um quadro de balanço energético positivo (Mendonça & Anjos, 2004), decorrente, possivelmente, de mudanças no consumo alimentar, com aumento no fornecimento de energia pela dieta e redução no GE das atividades cotidianas e ocupacionais, configurando um ‘estilo de vida ocidental contemporâneo’.

Há uma ampla variação no GE, dependendo da ocupação, atividade de lazer e propensão individual para atividade física (Åstrand & Rodahl, 1986), e as mulheres, em geral, tendem a ser menos ativas no lazer do que os homens, e as crianças mais ativas do que adultos (Anjos, 2000; Crespo et al., 1999).

Atualmente, considera-se que nos países mais desenvolvidos o gasto energético das atividades ocupacionais tenha menor importância no GE diário total, em função da diminuição do custo energético para a realização dessas atividades, causada pelo desenvolvimento tecnológico, que, caracterizado pela maior utilização de equipamentos, reduz o esforço do trabalhador. Entretanto, mesmo nesses países, ainda há alguns setores econômicos que exigem atividades manuais laborativas de maior intensidade. Nos países menos desenvolvidos, as atividades ocupacionais têm grande importância na determinação do GE total (Anjos, 1999). Medir apenas o GE de lazer leva à subestimação do GE total, especialmente nos indivíduos com ocupações intensas.

O presente capítulo descreve os métodos de medição do GE e revisa os principais usos de sua avaliação em estudos nutricionais, apresentando, sempre que possível, dados de estudos brasileiros.

Conceituação

O GE total diário pode ser entendido como a produção total de calor pelo indivíduo, incluindo o calor usado para a evaporação da água (Garrow, 1974). Seus componentes são: a Taxa Metabólica Basal (TMB), a atividade física e a ação dinâmica específica (ou termogênese) dos alimentos.

A TMB é a energia necessária para a manutenção das funções vitais (atividade mínima total das células do corpo em repouso em estado de vigília) e representa o principal componente do GE, podendo variar de 50% (indivíduo muito ativo fisicamente) até 70% (indivíduo sedentário) do GE total diário (Wahrlich & Anjos, 2001a). A TMB é medida em condições padronizadas: pela manhã, ao acordar, em repouso, relaxado, porém em

estado de vigília e em posição supina, em jejum de no mínimo 12 horas, após 6 a 8 horas de sono, com o indivíduo não tendo realizado exercício físico intenso no dia anterior ao teste. A medida deve ser feita em ambiente tranquilo, sem ruídos, com baixa luminosidade e com a temperatura da sala controlada. Na prática clínica e em estudos populacionais, a TMB não é medida, e sim estimada por equações de predição que parecem superestimar a TMB da população em geral e, particularmente, as que vivem nos trópicos (Wahrlich & Anjos, 2000).

A Atividade Física (AF), como definida no capítulo 26, “Epidemiologia da atividade física”, é entendida como qualquer movimento corporal produzido pelo músculo esquelético (Caspersen, Powell & Christenson, 1985) que resulte em custo energético superior à taxa metabólica basal. A AF é o componente de maior variação do GE, podendo corresponder a 10% do total em indivíduos confinados ao leito a até 50% em atletas (Montoye et al., 1996). A dimensão e a composição corporal, o sexo, a idade, a intensidade e duração da atividade física, o nível de aptidão física do indivíduo e a hereditariedade são os fatores responsáveis pela variação interindividual.

A termogênese dos alimentos refere-se à energia necessária para a realização dos processos metabólicos (absorção, transporte, armazenamento e metabolização) que ocorrem após a ingestão alimentar e totaliza, para uma dieta mista, aproximadamente 10% do GE total diário, mas sofre influência do tipo de dieta: carboidratos (5 a 10% de energia) ou gorduras requerem menos (5%), e uma dieta exclusivamente protéica requer mais (10 a 35%) (Bursztein et al., 1989).

A unidade apropriada para expressar o GE é o joule (energia gasta para deslocar 1 kg à distância de 1 metro pela força de 1 newton). No entanto, tipicamente utiliza-se o calorie (quantidade de calor necessária para elevar 1 g de água 1°C, de 14,5 a 15,5°C). Para fazer a conversão de uma unidade para outra, usam-se os seguintes fatores: 1 kcal = 4,184 kJ ou 1 kJ = 0,239 kcal.

Métodos de Medição

Há uma carência de informações sobre o GE em populações que vivem em países em desenvolvimento (Anjos, 1999), devida, em parte, à sofisticação e ao alto custo da técnica da Água Duplamente Marcada (ADM), método considerado, atualmente, como padrão para as medições do GE diário (Schoeller, 1999). Existem, entretanto, alternativas menos sofisticadas, igualmente válidas e mais baratas para estimar o GE (Wareham et al., 1997). De qualquer jeito, e para qualquer uso que se tenha em mente, a medição do GE deve ser realizada da forma mais exata possível, já que seu uso é cada vez mais importante em investigações sobre a relação entre a nutrição e a saúde nas populações modernas.

Calorimetria Direta e Indireta

Calorimetria Direta

A calorimetria direta baseia-se na determinação da perda de calor pelo corpo, utilizando-se de uma câmara calorimétrica, que consiste em um cômodo hermeticamente fechado e arejado, contendo um sistema no qual há circulação de água com temperatura conhecida e cuja variação entre o ponto de entrada e de saída expressará o calor produzido pelo organismo durante sua permanência no interior da câmara (Murgatroyd, Shetty & Prentice, 1993). Para obter-se informações confiáveis, é necessário que o indivíduo em avaliação permaneça um período longo dentro da câmara, para que o calor emanado de seu corpo possa ser medido. Isso faz com que as medidas não possam ser expressas por atividades específicas, já que haverá uma defasagem entre a produção do calor e sua medição. O calor produzido pelo corpo é captado pela alteração na temperatura da água circulante, e o calor perdido pela evaporação e pela ventilação é estimado pela captação da água que se condensa no interior da câmara.

O primeiro calorímetro humano foi construído por Atwater, no final do século XIX, e atualmente existem muito poucas unidades em funcionamento no mundo (Webb, 1985). Apesar de ser considerado o método-padrão para a avaliação do gasto energético, este método não é rotineiramente utilizado, devido a sua complexidade, alto custo e por restringir os indivíduos a um ambiente artificial, alterando suas atividades.

Calorimetria Indireta

A calorimetria indireta, que consiste na medição do consumo de oxigênio ($\dot{V} O_2$) e da eliminação de CO_2 ($\dot{V} CO_2$), é considerada um método preciso para a estimativa do GE. Neste método o indivíduo respira por meio de uma máscara conectada a um calorímetro, onde são feitas a medição dos volumes inspirados e expirados e a análise do gás expirado e inspirado, a fim de estimar o nível de troca gasosa, basicamente o $\dot{V} O_2$. A quantidade de energia gasta é estimada indiretamente, por meio da conversão do O_2 consumido, daí o nome de calorimetria indireta, e baseia-se na análise da queima de nutrientes (Lusk, 1917). Cada nutriente utiliza determinada quantidade de O_2 para sua metabolização, fornecendo quocientes respiratórios ($QR = \dot{V} CO_2 / \dot{V} O_2$) diferentes. Os lipídios apresentam QR em torno de 0,7, os carboidratos QR próximos a 1,0 e proteínas um QR aproximado de 0,82 a 0,85. Para cada QR não protéico existe um equivalente energético por litro de O_2 consumido. Na prática, a conversão (em kcal) pode ser realizada pela equação simplificada sugerida por Weir (1949): $(\dot{V} O_2 \times 3,9) + (\dot{V} CO_2 \times 1,1)$. Quando o CO_2 não é medido, assume-se um QR de 1 e um equivalente energético de 1 litro de O_2 igual a aproximadamente 5 kcal.

Este método permite o estabelecimento do custo energético das atividades minuto a minuto, visto que os dados são coletados neste intervalo de tempo. Atualmente, existem aparelhos portáteis, que podem ser carregados nas costas ou na cintura, possibilitando ao indivíduo manter suas atividades normais sem muita interferência, enquanto a troca gasosa é medida (Wahrlich et al., 2006).

Marcadores Fisiológicos: água duplamente marcada, frequência cardíaca

Água Duplamente Marcada

O método da ADM, que consiste na ingestão de água contendo os isótopos deutério (2H_2) e oxigênio (^{18}O), permite avaliar o GE pela diferença entre o ritmo de eliminação do oxigênio marcado e do deutério na urina (Schoeller, 1999) e foi usado pela primeira vez em seres humanos no início da década de 1980 (Schoeller & Van Santen, 1982), apesar de seu uso em pequenos animais ser muito mais antigo (Speakman, 1998).

O método é baseado no princípio de que o *turnover* do oxigênio é dominado tanto pelo fluxo de água no corpo como pelo oxigênio inspirado e gás carbônico expirado. Em contrapartida, o *turnover* do hidrogênio no corpo só é dominado pelo fluxo de água no corpo (Speakman, 1990). Portanto, a diferença dos dois *turnovers* significa o excesso de oxigênio que é equivalente ao gás carbônico produzido. A estimativa do GE é feita ao se medir a quantidade de H_2O metabólica e, assim, extrapolar-se a quantidade de CO_2 produzida no organismo. Assumindo-se um valor fixo de QR (usualmente 0,85), pode-se estimar o consumo de O_2 ($\dot{V} CO_2 / 0,85$), e então o GE, ou seja, o método não deixa de ser uma estimativa de calorimetria indireta.

A aplicação do método é simples: consiste em fornecer uma dosagem conhecida da ADM para o indivíduo que terá de coletar a urina durante alguns dias. A baixa disponibilidade e o alto custo do isótopo de oxigênio (^{18}O), além da alta tecnologia necessária para análise de determinação da concentração dos isótopos, tornam este método inviável, atualmente, em estudos de larga escala.

Apesar de fornecer medida exata do GE por períodos de vários dias, este método não fornece o padrão de atividade, pois normalmente começa-se a medir seriadamente a eliminação do elemento marcado após pelo

menos 24 horas de sua ingestão, o que faz com que se tenha o GE para intervalos de tempo grande (normalmente de vários dias, que são expressos em 24 horas). Este seria o método ideal para estudos epidemiológicos quando se quer saber o GE total diário.

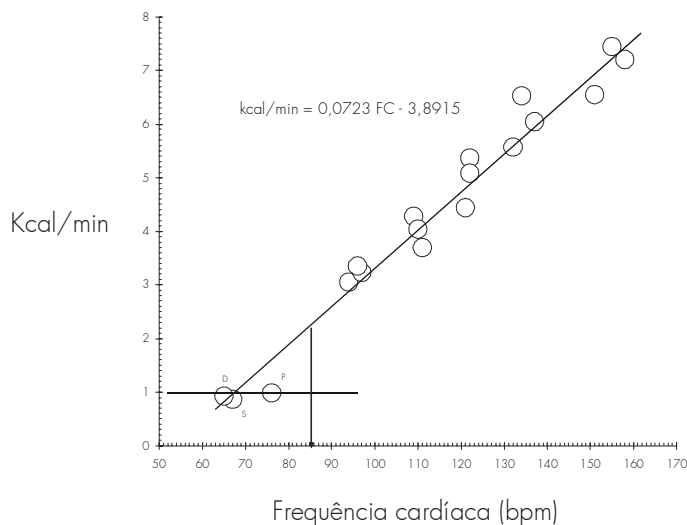
Método da Frequência Cardíaca

A relação entre Frequência Cardíaca (FC) e GE foi observada no início do século passado por Benedict, que relatou que mudanças na frequência do pulso estavam correlacionadas com mudanças na produção de calor (Benedict, 1915), o que o fez sugerir que a FC poderia se tornar um método prático satisfatório para a estimativa do metabolismo basal. Atualmente, sabe-se que a frequência cardíaca de repouso é influenciada pelo nível de aptidão física, o que faz com que a predição da TMB pela FC de repouso não seja adequada. Entretanto, durante atividades, há uma relação linear entre a FC e o O_2 (Bradfield, Huntzicker & Fruehan, 1969; Spurr et al., 1988). Essa relação, normalmente obtida em um teste progressivo de carga em ergômetro, pode sofrer influência de vários fatores, como a composição corporal, a aptidão física e o estado de saúde. Quando o teste é feito várias vezes no mesmo indivíduo, sob as mesmas condições, a reprodutibilidade do O_2 em diferentes cargas de trabalho é boa. Contudo, pode haver variação na FC de um dia para outro, mesmo sob condições padronizadas, durante exercício com a mesma carga de trabalho, porque alguns fatores, como a temperatura e umidade ambiental, o estado emocional, dentre outros, podem alterar a FC sem influenciar o O_2 .

O método baseia-se na conversão dos valores de FC armazenados em monitores de FC durante 24 horas ou durante o período em que o indivíduo permanece acordado. O GE das 24 horas é calculado com base em uma curva de calibração individual (Spurr et al., 1988) ou predita (Rennie et al., 2001), pela extrapolação dos valores de FC de cada minuto ou por blocos de atividades.

A curva de calibração (FC x O_2) é composta por uma curva de repouso, baseada nas atividades sedentárias (deitado, sentado e de pé), e uma curva relativa ao trabalho muscular submáximo (Figura 1).

Figura 1 – Exemplo de uma curva de calibração Gasto Energético (GE) x Frequência Cardíaca (FC) obtida em um indivíduo durante o repouso (deitado – D, sentado – S, de pé – P) e durante caminhada em esteira rolante com intensidade progressiva para gerar a equação mostrada na figura. A linha vertical expressa a média da maior FC durante o repouso e a menor FC durante a caminhada



Fonte: dados inéditos dos autores.

É importante a realização de um registro de atividades durante o dia da monitoração da FC, para que se possa parear os valores de FC com as atividades realizadas e identificar possíveis interferências e momentos de aumento da FC por outros motivos que não de atividade física.

Inicialmente, calcula-se o valor de Flexão da FC (FFC, ou Flex-HR - *Flex Heart Rate*, em inglês), que é, em geral, calculado como a média entre o maior valor de repouso (geralmente o valor do indivíduo de pé) e o menor valor durante o teste de carga, que no exemplo é igual a 85 batimentos por minuto (bpm), marcado pela seta vertical. Para o período da monitoração da FC em que o indivíduo estiver acordado e a FC for menor do que o FFC, utiliza-se o valor médio de GE obtido no repouso (deitado, sentado e de pé). Para o tempo em que a FC for maior do que o FFC, utiliza-se a equação de regressão dos dados do teste de carga, que, para o exemplo, seria $\text{kcal/min} = 0,0723 \times \text{FC} - 3,8915$. Usando-se a equação, pode-se estimar que o GE é de 3,3385 kcal/min para a FC de 100 bpm neste indivíduo. Para o período em que o indivíduo dormiu, utiliza-se o valor de TMB medido. Assim, para cada valor de FC monitorado durante as 24 horas, pode-se estimar o GE e totalizar as 24 horas.

Essa técnica já foi validada em estudos que empregaram a calorimetria direta (Ceesay et al., 1989; Spurr et al., 1988) e a ADM (Livingstone et al., 1990; Heini et al., 1996; Davidson et al., 1997) e funciona adequadamente para grupos de indivíduos. O princípio do método, originalmente descrito por Bradfield, Huntzicker e Fruehan (1969) e formalizado por Bradfield (1971), foi popularizado pelo prof. Gerald Spurr nos estudos sobre a avaliação do estado nutricional funcional na população da Colômbia (Spurr, Reina & Barac-Nieto, 1986; Spurr et al., 1988) e requeria uma quantidade grande de informações, principalmente a construção da curva de calibração individualizada (Bradfield, 1971, 1979) e a obtenção de um registro (diário ou entrevista) das atividades, fazendo com que muitos autores questionassem seu uso em estudos epidemiológicos. Em geral, o fisiologista do exercício precisa ter informações precisas para uma atividade realizada em ambiente controlado, mas o nutricionista, por sua vez, está interessado em obter informações sobre o GE total em um determinado intervalo de tempo (Bradfield, 1971), e para tanto usa métodos menos precisos.

O grande desafio do epidemiologista é conseguir métodos simples que possam ser usados em um número grande de indivíduos com o menor erro possível. Rennie e colaboradores (2001) propuseram uma simplificação do método da estimação do GE por meio da FC, ao eliminar a necessidade de construção de uma curva de calibração individualizada. A monitoração da FC seria realizada e os valores convertidos em GE de 24 horas por meio de equações de predição populacionais com dados simples de obter: sexo, índice de massa corporal (kg/m^2) e FC de repouso (sentado). Mais recentemente ainda, houve a proposta da obtenção simultânea da FC com informações de movimento, por intermédio de um acelerômetro, fazendo com que o registro de atividades seja dispensado (Brage et al., 2006). Na Índia, Kurpad e colaboradores (2006) também propuseram uma simplificação: a dispensa da calorimetria indireta na curva de calibração, que, se confirmada, poderia permitir o uso do método em grande escala mesmo em lugares que não disponham de um sistema de medição da troca gasosa.

A grande vantagem do método da FC é que ele estima não só o GE diário (como no caso do método da ADM), como também o gasto energético das várias atividades, podendo, assim, indicar o padrão de atividade dos indivíduos em investigação. Essa característica, associada ao seu baixo custo, vem sendo apregoada como uma excelente vantagem em estudos epidemiológicos (Wareham et al., 1997).

Usando a técnica da FFC, Anjos e Ferreira (2000) documentaram o expressivo GE em trabalhadores envolvidos na coleta de lixo domiciliar no município do Rio de Janeiro. Para uma jornada diária mediana de aproximadamente seis horas (481 minutos), os coletores de lixo domiciliar gastaram 288,4 kcal/hora (mediana), ou seja, aproximadamente 1.730 kcal somente durante o período de trabalho.

Inquéritos

Método Fatorial

Este método baseia-se na descrição, relato ou observação das atividades diárias e sua duração, ou seja, o orçamento do tempo. Essas informações podem ser obtidas retrospectivamente por relato feito pelo indivíduo, por meio de diário de atividade ou entrevista, ou observadas e anotadas por um observador. As atividades são agrupadas por intensidade e convertidas em energia gasta empregando-se tabelas de conversão atividade/dispêndio de energia (Durnin & Passmore, 1967). As tabelas existentes, encontradas em livros-texto de nutrição ou fisiologia do exercício, apresentam, tipicamente, valores em kcal por minuto (algumas em relação ao peso corporal) de atividades, sem levar em consideração as características individuais, como sexo, nível de aptidão física e idade.

Alternativamente, as várias atividades podem ser expressas em energia ao se multiplicar a TMB pelo tempo de atividade e pela razão GE/TMB. Essa razão pode ser expressa de três formas, dependendo do tempo da atividade: Razão de Atividade Física (RAF), quando se usa o valor do GE da TMB a cada minuto; Índice Energético Integrado (IEI), quando se utiliza um ciclo de atividade levando-se em consideração os tempos de repouso dessa atividade; Nível de Atividade Física (NAF), quando se usa o GE de 24 horas dividido pela TMB de 24 horas (FAO/WHO/UNU, 1985; Vasconcellos & Anjos, 2003).

A expressão do GE em função da TMB tem como objetivo reduzir as diferenças individuais não contempladas com as tabelas de conversão de atividade, uma vez que sexo, idade e peso corporal são utilizados no cálculo da TMB. Assim, essa forma de expressar o GE representa vantagem em relação ao uso das tabelas de conversão que só controlam, quando o fazem, pelo peso corporal dos indivíduos.

De forma simplificada, pode-se estimar o GE total diário de indivíduos por meio da multiplicação da TMB pelo NAF, que é, atualmente (FAO/WHO/UNU, 2004), estabelecido seguindo uma classificação de estilo de vida em relação à intensidade da atividade física habitual, como será visto mais à frente. Uma forma de fatorial mais detalhada requer a obtenção de todas as atividades realizadas para se construir um orçamento de tempo gasto para cada atividade, valor que será multiplicado pelo custo energético da atividade expresso como múltiplo da TMB, ou seja, pelo IEI, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplo de orçamento de tempo (fatorial) teórico de um dia típico de um indivíduo para o cálculo do gasto energético diário

Atividades	Tempo (horas)	IEI	Cálculo da energia (Tempo x IEI x TMB)
Dormir	8	1	
Trabalho	8	(tabela)	
Tempo residual	?	1,4	
Atividades caseiras	?	2,7	
Atividades discricionárias	?	(tabela)	
Atividades caseiras (outras)	?	(tabela)	
Socialmente desejáveis	?	(tabela)	
Para melhorar/manter a aptidão física	?	(tabela)	
Total (24 horas)			

Fonte: elaborada com base nas recomendações contidas em FAO/WHO/UNU (2004).

Infelizmente, há poucos dados disponíveis sobre o IEI das várias atividades, o que limita em muito o uso deste método.

Uma outra forma de estimar o GE de atividades, amplamente utilizada pela área de ciência do movimento humano, usa os valores da atividade como múltiplo do metabolismo de repouso avaliado como MET (equivalente metabólico que é estabelecido, universalmente, como 3,5 mL O₂/kg peso corporal/minuto). Aparentemente, a lista mais completa de códigos de METS para atividades foi compilada por Ainsworth e colaboradores (1993, 2000), no agora já clássico *Compêndio de Atividades Físicas*. A lista contém um vasto espectro de atividades, incluindo as cotidianas, as de lazer e as ocupacionais, e é muito mais completa do que as existentes com os valores de IEI. Nesse método, utiliza-se o valor de peso corporal do indivíduo e calcula-se o valor individual do MET por minuto. Localiza-se o valor do código de múltiplo de METs da atividade e multiplica-se tal valor pelo MET individual (ver exemplo a seguir). No entanto, há evidências de que o valor fixo de MET não é adequado para vários grupos populacionais (Byrne et al., 2005; Gunn et al., 2004). De fato, dados coletados entre 58 alunas do curso de nutrição da Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, indicaram um valor médio de MET igual a 3,2 mL O₂/kg peso corporal/minuto (Anjos et al., s. d.). Nessas mulheres, observou-se que uma caminhada a 4 km/h no plano na esteira rolante equivaleria, em média, a um GE de 2,9 kcal/min ou, aproximadamente, 3,5 MET. Aparentemente, o menor valor de MET medido é compensado pelo maior valor de múltiplo de MET, já que o valor estimado de GE com base nos valores do *Compêndio* para essas mulheres (2,85 kcal/min) não foi, em média, diferente do medido. Isso ocorre pelo fato de o *Compêndio* atribuir um valor de 3 MET para a caminhada a 4 km/h:

MET		Peso corporal		VO ₂	VO ₂	kcal/min		Número		GE
mL O ₂ /kg/min		kg		mL/min → L/min		por L O ₂		de METs		kcal/min
3,5	x	54,3	=	190	0,19	x	5	x	3	= 2,85

É importante que mais estudos sobre o custo energético das diversas atividades sejam realizados, para se determinar a validade da estimativa do GE com base nos valores de IEI e nos códigos de MET das várias atividades descritas no *Compêndio*.

Instrumentos Eletrônicos: acelerômetro

O princípio teórico do acelerômetro é que a aceleração do movimento do corpo, captada pelo instrumento, é diretamente proporcional às forças musculares que a produziram e, portanto, indica o GE do movimento (Freedson & Miller, 2000).

O acelerômetro consiste em uma unidade pequena que pode registrar os movimentos da parte do corpo onde eles forem colocados em um único eixo (vertical), ou nas unidades mais sofisticadas, em três eixos. As unidades mais recentes também registram simultaneamente o tempo, fazendo com que seja possível registrar a intensidade da atividade realizada (movimento/tempo). Os dados são transferidos para um computador, em que, com programas específicos, calcula-se o GE em um determinado intervalo de tempo. Em geral, não se constrói uma equação individual entre a contagem do acelerômetro e o custo de atividades, fazendo com que se dependa de equações preditivas. Há diversas equações preditivas disponíveis, dependendo das características da população em estudo (Welk, 2002). Como o aparelho é usado, na maior parte das vezes, na cintura, atividades mais sedentárias e as que não impliquem deslocamentos do tronco (por exemplo, atividades realizadas sentadas) podem não ser captadas, o que faz com que haja subestimativa do GE (Bassett Jr. et al., 2000).

Assim, este tipo de método pode ser útil para estimar movimentos que impliquem deslocamento do corpo inteiro, ou seja, caminhar, correr. Algumas unidades podem também fornecer o número de passadas realizadas, ou seja, servem também como pedômetro.

Um dos primeiros acelerômetros disponíveis comercialmente, e por esta razão bastante popularizado e ainda em uso (Iqbal et al., 2006), foi o Caltrac, desenvolvido por Henry Montoye e usado na cintura (Montoye et al., 1983). A grande crítica a esse sistema decorre do fato de ele não armazenar as informações, o que faz com que seja necessário verificar o valor mostrado no *display*. Além disso, o sistema tem vários botões de controle, o que pode comprometer o seu uso em pessoas curiosas ou que, inadvertidamente, encostem nos controles. Montoye (2000) experimentou o uso do Caltrac nos três eixos do corpo, e esses dados serviram como base para o desenvolvimento de um acelerômetro de três eixos.

O grande problema deste método diz respeito a como classificar a intensidade da atividade que está sendo realizada, o que influenciará diretamente o cálculo do GE. Para tanto, alguns autores têm tentado incorporar outras medidas simultâneas, como a frequência cardíaca, para melhorar a predição do GE (Brage et al., 2006; Johansson et al., 2006).

Importância da Medida para a Área da Nutrição

Na área da nutrição, o estudo do padrão de GE na população pauta-se, principalmente, na determinação dos Requerimentos Energéticos (RE) e na definição dos padrões de atividade física compatíveis com a saúde (FAO/WHO/UNU, 2004). A energia utilizada para o desempenho das funções vitais nos seres humanos é proveniente dos alimentos, cuja ingestão deve ser norteadada pelo nível de sua atividade, e não pela ingestão alimentar, porque esta é bastante variável no mesmo indivíduo e os métodos para sua avaliação são pouco confiáveis. Além disso, os indivíduos podem adaptar seus níveis de atividade a ingestões baixas (FAO/WHO/UNU, 1985). Esses são os fatores principais que levaram a Organização Mundial da Saúde (OMS) a sugerir o GE como medida para estabelecer as necessidades energéticas diárias. Além deste uso, a informação sobre o GE é importante em muitas situações clínicas e em estudos epidemiológicos, como será visto mais adiante.

Em 1985, segundo recomendação da OMS (FAO/WHO/UNU, 1985), os RE para adultos passaram a ser definidos com base no GE diário, segundo o princípio de que os RE deveriam prover energia para equilibrar o balanço energético compatível com a manutenção da composição corporal e do nível de atividade física consistentes com a boa saúde e para permitir a atividade física economicamente necessária e socialmente desejável. Essa recomendação fez com que houvesse um grande aumento em estudos sobre os componentes do GE.

Como a TMB é o maior componente do GE total diário, a sugestão foi que o custo energético das atividades fosse expresso como múltiplos da TMB (FAO/WHO/UNU, 1985; James & Schofield, 1990) para facilitar as comparações entre populações e controlar as características individuais, tais como idade, sexo, peso corporal e estatura. Desenvolveu-se, assim, um método – chamado de fatorial simplificado – para estimativa dos RE, utilizando-se de um múltiplo da TMB, o NAF, para cada categoria definida em função da atividade ocupacional e do sexo, com base em padrões de atividade física já descritos na literatura (Vasconcellos & Anjos, 2003). A mais recente recomendação manteve a idéia do uso do NAF para estimar os RE, mas incorporou em seu cálculo as atividades não ocupacionais e passou a chamar esta razão de estilo de vida em relação à intensidade da atividade física habitual (FAO/WHO/UNU, 2004). Basicamente, as alterações nos valores de NAF foram: 1) não há mais distinção nos valores para mulheres e homens e 2) foi criada uma faixa, e não mais um valor fixo, para cada um dos três padrões.

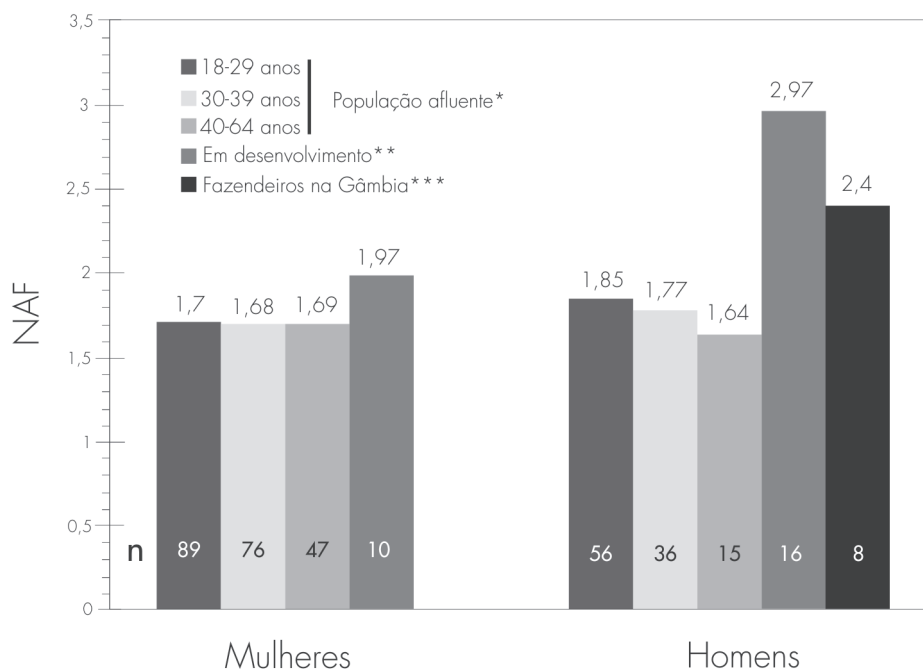
Os valores de NAF sugeridos foram: 1) 1,40 a 1,69, para os indivíduos sedentários ou com estilo de vida incluindo somente atividades leves; 2) 1,70 a 1,99, para os indivíduos com estilo de vida ativo ou moderadamente ativo; 3) 2,00 a 2,40, para os indivíduos com estilo de vida com atividades pesadas.

Há muito poucos dados sobre os valores de NAF nas diversas populações do mundo, particularmente nas que vivem em países em desenvolvimento. Por exemplo, Vinken e colaboradores (1999) encontraram valores de NAF médio de 1,80 para 93 indivíduos (44 homens e 49 mulheres) de 18 a 81 anos de idade, ao medir o GE de 24 horas por meio de ADM e a TMB por calorimetria indireta. Os autores concluíram que os valores de NAF recomendados deveriam ser revistos, opinião que não é consensual para as sociedades afluentes (Shetty et al., 1996).

Por exemplo, Black e colaboradores (1996) revisaram as informações de 574 medições de GE por meio de ADM em populações de países ricos, chamados de afluentes, e encontraram valores médios de NAF dentro da faixa de estilo de vida moderado, com exceção dos homens na faixa de 40 a 64 anos (Figura 2). Para as populações que vivem em condições menos desenvolvidas, não há dados suficientes de GE, mas aparentemente será necessário revisar os valores de NAF (Vasconcellos & Anjos, 2003), com base nas evidências de que os dados de atividade física (numerador) usados para seu cálculo foram subestimados (Haggarty et al., 1994; Heini et al., 1996), além da superestimativa da TMB (denominador) encontrada nessas populações (Cruz, Silva & Anjos, 1999; Wahrlich & Anjos, 2000).

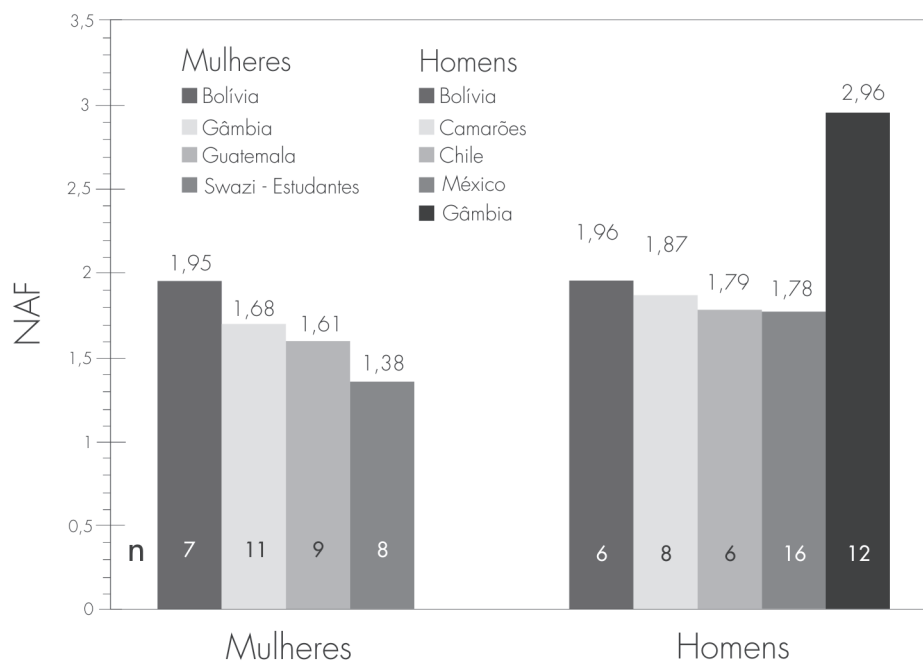
Em geral, os dados de GE obtidos por meio da mesma técnica em populações de países em desenvolvimento (Coward, 1998) indicaram valores bem maiores (Figuras 2 e 3). É importante frisar, entretanto, que os estudos disponíveis são feitos em amostras bem pequenas (perto de dez indivíduos) que gastam muita energia (fazendeiros ou população rural). São poucos os dados de populações urbanas, mais propensas a apresentar características de atividades físicas semelhantes às das populações de países desenvolvidos. No estudo feito em estudantes do Swazi, por exemplo, o valor médio de NAF foi bem baixo, perto de 1,38 (Figura 3).

Figura 2 – Valores médios do nível de atividade física (NAF = GE/TMB) em amostras de indivíduos de países afluentes e em desenvolvimento



Fontes: * Black et al., 1996; ** Schulz & Schoeller, 1994; *** Heini et al. 1996.

Figura 3 – Valores médios do nível de atividade física (NAF = GE/TMB) em amostras de indivíduos de países em desenvolvimento



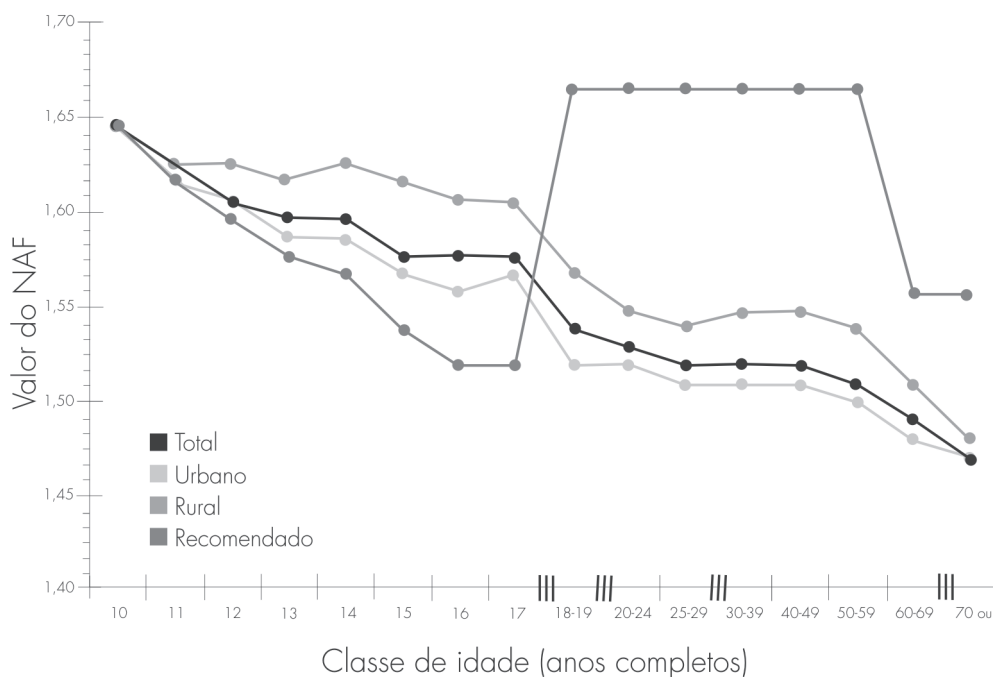
Fonte: desenhada com base em dados obtidos em Coward (1998)

Na verdade, pode-se estimar os valores de NAF para uma população desde que se conheçam as características do orçamento de tempo (tempo gasto realizando as diversas tarefas diárias) e se disponha dos valores corretos de IEI. Como o GE de 24 horas = TMB x NAF = $\sum_i (t_i \text{ IEI}_i \text{ TMB}_i)$, pode-se concluir que o NAF = $(\sum_i t_i \text{ IEI}_i) / 24$. Ou seja, para se estimar o NAF não é preciso medir a TMB ou o GE, basta saber o tempo das atividades (t) e o valor de IEI dessas atividades. Valendo-se dessa abordagem, Vasconcellos e Anjos (2003) calcularam os valores de NAF para a população brasileira usando os dados do Estudo Nacional da Despesa Familiar (Endef). Fica evidente como os valores de NAF sugeridos para uso na população em geral eram adequados, na média, para os homens (Figura 4), mas havia uma brutal diferença entre os valores de NAF recomendados e os estimados para a população rural e urbana. Para as mulheres, as diferenças são ainda mais marcantes (Figura 5).

A aplicação dos valores de NAF na população brasileira deve ser vista com cautela, pois, além dos problemas com as tabelas de custo energético de atividades, há ainda a aparentemente superestimativa da TMB pelas equações sugeridas para uso internacional, fato já documentado em segmentos da população brasileira (Anjos, 1998; Anjos et al., 1998; Cruz, Silva & Anjos, 1999; Wahrlich & Anjos, 2001b; Wahrlich, 2005; Wahrlich et al., 2007). Como na maioria das situações clínicas ou dos estudos epidemiológicos não se mede a TMB, deve-se confiar em equações de predição da TMB, o que, em muitos casos, pode levar a conclusões errôneas (Wahrlich & Anjos, 2001a).

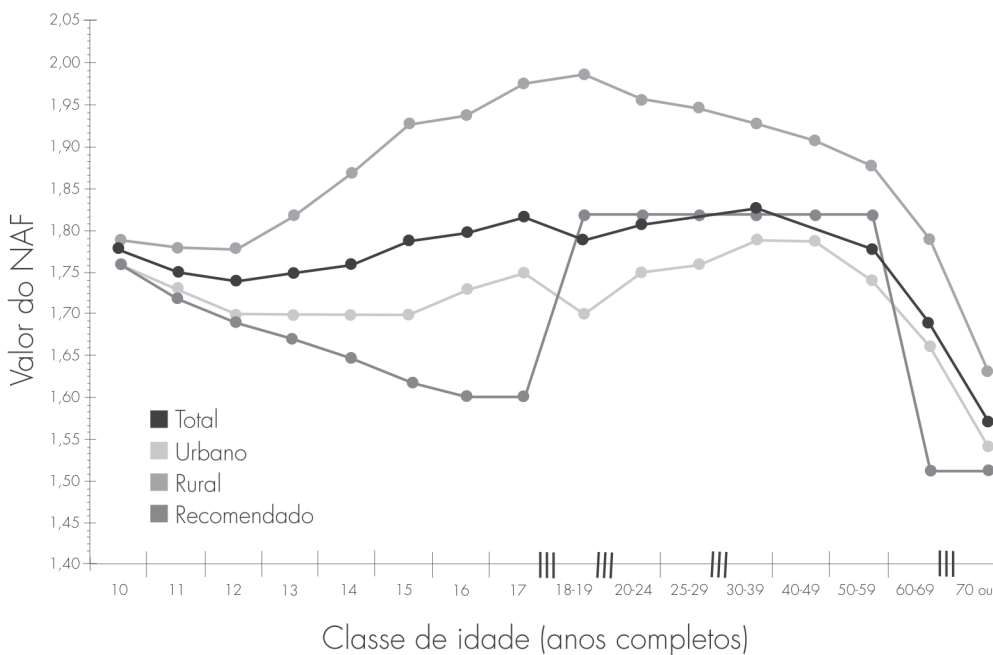
Para os casos que não é possível medir a TMB, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) e a OMS passaram a sugerir na nova recomendação de RE (FAO/WHO/UNU, 2004) o uso das equações de Schofield (1985), listadas na Tabela 2, que, na ausência de outras validadas para a população brasileira, deverão ser usadas, mesmo sabendo que elas poderão superestimar a TMB em até 20% (Wahrlich, 2005).

Figura 4 – Coeficientes estimados de NAF na população masculina brasileira em 1975



Fonte: desenhada com base em dados gerados por Vasconcellos e Anjos (2003).

Figura 5 – Coeficientes estimados de NAF na população feminina brasileira em 1975



Fonte: desenhada com base em dados gerados por Vasconcellos e Anjos (2003).

Tabela 2 – Equações para cálculo da TMB publicadas por Schofield (1985) e sugeridas para uso internacional pela FAO/WHO/UNU (2004). Peso (P) em kg

Idade (anos)	Homens		Mulheres	
	n	TMB (kcal/dia)	n	TMB (kcal/dia)
< 3	162	$59,512 \times P - 30,4$	137	$58,317 \times P - 31,1$
3 - 9,9	338	$22,706 \times P + 504,3$	413	$20,315 \times P + 485,9$
10 - 17,9	734	$17,686 \times P + 658,2$	575	$13,384 \times P + 692,6$
18 - 29,9	2879	$15,057 \times P + 692,2$	829	$14,818 \times P + 486,6$
30 - 59,9	646	$11,472 \times P + 873,1$	372	$8,126 \times P + 845,6$
> 60	50	$11,711 \times P + 587,7$	38	$9,082 \times P + 658,5$

Até a publicação de 2004, a FAO e a OMS sugeriam que o aporte energético para os menores de 10 anos de idade fosse baseado no valor do peso corporal. Atualmente, a recomendação, para crianças acima de 1 ano de idade e adolescentes, é que se use a mesma estratégia para adultos, ou seja, basear os dados em estudos de ADM, calculando-se a TMB e multiplicando-se o valor encontrado pelo NAF. Para fins práticos, foram desenvolvidas equações para a estimativa dos requerimentos energéticos baseados no valor do peso corporal (em kg), apresentadas a seguir. É importante reparar que há um componente quadrático do peso corporal (kg^2).

Meninos (n = 801)

$$\text{GE} = \text{RE (kcal/dia)} = 310,2 + 63,3 \text{ kg} - 0,263 \times \text{kg}^2$$

Meninas (n = 808)

$$\text{GE} = \text{RE (kcal/dia)} = 263,4 + 65,3 \text{ kg} - 0,454 \times \text{kg}^2$$

Para crianças com menos de 1 ano de idade, foi dada a opção de calcular o RE usando-se três equações, dependendo do peso corporal e das características da alimentação das crianças:

Amamentação (n = 195)

$$\text{GE total diário (kcal/dia)} = - 152,0 + 92,8 \times \text{kg}$$

Com alimentação por fórmula (n = 125)

$$\text{GE total diário (kcal/dia)} = - 29,0 + 82,6 \times \text{kg}$$

Todos (amamentação ou alimentação por fórmula) (n = 320)

$$\text{GE total diário (kcal/dia)} = - 99,4 + 88,6 \times \text{kg}$$

Considerações Finais

A medição do gasto energético tem muitas aplicações para a área de saúde, mas é na determinação dos requerimentos energéticos e na avaliação da atividade física de populações que atualmente se concentra o seu uso. O método da água duplamente marcada, atualmente considerado como padrão, ainda é caro. Existem, entretanto, métodos mais simples e mais baratos e que são bastante promissores para o uso em pesquisas populacionais.

Referências

- AINSWORTH, B. E. et al. Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25: 71-80, 1993.
- AINSWORTH, B. E. et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32: S498-S516, 2000.
- ANJOS, L. A. A taxa metabólica basal é superestimada por equações preditivas em coletores de lixo domiciliar do Rio de Janeiro. SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DO ESPORTE, XXI, SÃO CAETANO DO SUL. *Anais...* São Caetano do Sul: Centro de Estudos de Aptidão Física de São Caetano do Sul, 1998.
- ANJOS, L. A. Prevalência da inatividade física no Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO DE ATIVIDADE FÍSICA E SAÚDE, II, 1999, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.
- ANJOS, L. A. Physical activity estimates from a household survey in Brazil. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, suppl. 5: S188, 2000.
- ANJOS, L. A. & FERREIRA, J. A. A avaliação da carga fisiológica de trabalho na legislação brasileira deve ser revista! O caso da coleta de lixo domiciliar no Rio de Janeiro. *Cadernos de Saúde Pública*, 16: 785-790, 2000.
- ANJOS, L. A. et al. Basal metabolic rate cannot be estimated by current predictive equations in Brazilian college female students. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, suppl. 5: S263, 1998.
- ANJOS, L. A. et al. Energy expenditure of walking at different intensities in Brazilian college-aged women, s. d. (Mimeo.)
- ÅSTRAND, P. & RODAHL, K. *Textbook of Work Physiology: physiological bases of exercise*. 3. ed. New York: McGraw-HillBook Company, 1986.
- BASSETT JR., D. R. et al. Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Medicine & Science in Sports & Medicine*, 32, suppl. 9: S471-S480, 2000.
- BENEDICT, F. G. Factors affecting basal metabolism. *The Journal of Biological Chemistry*, 20: 263-299, 1915.
- BLACK, A. E. et al. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50: 72-92, 1996.
- BRADFIELD, R. B. A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field. *American Journal of Clinical Nutrition*, 24: 1.148-1.154, 1971.
- BRADFIELD, R. B. Short-term repeatability of oxygen consumption-heart rate relationships. *American Journal of Clinical Nutrition*, 32: 1.758-1.759, 1979.
- BRADFIELD, R. B.; HUNTZICKER, P. B. & FRUEHAN, G. J. Simultaneous comparison of respirometer and heart-rate telemetry techniques as measures of human energy expenditure. *American Journal of Clinical Nutrition*, 22: 696-700, 1969.
- BRAGE, S. et al. Effect of combined movement and heart rate monitor placement on physical activity estimates during treadmill locomotion and free-living. *European Journal of Applied Physiology*, 96: 517-524, 2006.

- BURSZTEIN, S. et al. *Energy Metabolism, Indirect Calorimetry and Nutrition*. Maryland: Williams & Wilkins, 1989.
- BYRNE, N. M. et al. Metabolic equivalent: one size does not fit all. *Journal of Applied Physiology*, 99: 1.112-1.119, 2005.
- CASPERSEN, C. J.; POWELL, K. E. & CHRISTENSON, G. M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100: 126-131, 1985.
- CEESAY, S. M. et al. The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry. *British Journal of Nutrition*, 61: 175-186, 1989.
- COWARD, W. A. Contributions of the doubly labeled water method to studies of energy balance in the Third World. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68: 962S-969S, 1998.
- CRESPO, C. J. et al. Prevalence of physical inactivity and its relation to social class in U.S. adults: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1994. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(12): 1.821-1.827, 1999.
- CRUZ, C. M.; SILVA, A. F. & ANJOS, L. A. Validação de equações preditivas da taxa metabólica basal em universitárias do Rio de Janeiro, Brasil. *Arquivos Latinoamericanos de Nutrición*, 49: 232-237, 1999.
- DAVIDSON, L. et al. Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *British Journal of Nutrition*, 78: 695-708, 1997.
- DURNIN, J. V. G. A. & PASSMORE, R. *Energy, Work and Leisure*. London: Heinemann Educational Books, 1967.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO)/WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)/ UNITED NATIONS UNIVERSITY (UNU). *Energy and Protein Requirements*. Geneva: WHO, 1985. (WHO Technical Report Series, 724).
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO)/WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO)/ UNITED NATIONS UNIVERSITY (UNU). *Human Energy Requirements*. Rome: FAO, 2004. (Food and Nutrition Technical Report Series, 1).
- FREEDSON, P. S. & MILLER, K. Objective monitoring of physical activity using motion sensors and heart rate. *Research Quarterly for Exercise & Sport*, 71: 21-29, 2000.
- GARROW, J. S. *Energy Balance and Obesity in Man*. Amsterdam: North Holland, 1974.
- GUNN, S. M. et al. Measurement and prediction of energy expenditure in males during household and garden tasks. *European Journal of Applied Physiology*, 91: 61-70, 2004.
- HAGGARTY, P. et al. The influence of exercise on the energy requirements of adult males in the UK. *British Journal of Nutrition*, 72: 799-813, 1994.
- HEINI, A. F. et al. Free-living energy expenditure assessed by two different methods in rural Gambian men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50: 284-289, 1996.
- IQBAL, R. et al. Validating Mospa questionnaire for measuring physical activity in Pakistani women. *Nutrition Journal*, 5: 18, 2006.
- JAMES, W. P. T. & SCHOFIELD, E. *Human Energy Requirements: a manual for planners and nutritionists*. New York: FAO, Oxford University Press, 1990.

- JOHANSSON, H. P. et al. Accelerometry combined with heart rate telemetry in the assessment of total energy expenditure. *British Journal of Nutrition*, 95: 631-639, 2006.
- KURPAD, A. V. et al. A simple method of measuring total daily energy expenditure and physical activity level from the heart rate in adult men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60: 32-40, 2006.
- LIVINGSTONE, M. B. et al. Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly labeled water method and heart-rate monitoring. *American Journal of Clinical Nutrition*, 52: 59-65, 1990.
- LUSK, G. *The Elements of the Science of Nutrition*. 3. ed. Philadelphia: W. B. Saunders, 1917.
- MENDONÇA, C. P. & ANJOS, L. A. Aspectos das práticas alimentares e da atividade física como determinantes do crescimento do sobrepeso/obesidade no Brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 20: 698-706, 2004.
- MONTOYE, H. J. Introduction: evaluation of some measurements of physical activity and energy expenditure. *Medicine & Science in Sports & Medicine*, 32, suppl. 9: S439-S441, 2000.
- MONTOYE, H. J. et al. Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer. *Medicine & Science in Sports & Medicine*, 15: 403-407, 1983.
- MONTOYE, H. J. et al. *Measuring Physical Activity and Energy Expenditure*. Champaign: Human Kinetics, 1996.
- MURGATROYD, P. R.; SHETTY, P. S. & PRENTICE, A. M. Techniques for the measurement of human energy expenditure: a practical guide. *International Journal of Obesity*, 17: 549-568, 1993.
- RENNIE, K. L. et al. Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individual calibration. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33: 939-945, 2001.
- SCHOELLER, D. A. Recent advances from application of doubly labeled water to measurement of human energy expenditure. *Journal of Nutrition*, 129: 1.765-1.768, 1999.
- SCHOELLER, D. A. & VAN SANTEN, E. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labelled water. *Journal of Applied Physiology*, 53: 955-959, 1982.
- SCHOFIELD, W. N. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 39, suppl. 1: 5-41, 1985.
- SCHULZ, L. O. & SCHOELLER, D. A. A compilation of total daily energy expenditures and body weights in healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 60: 676-681, 1994.
- SHETTY, P. S. et al. Energy requirements of adults: an update on Basal Metabolic Rates (BMRs) and physical activity levels (PALs). *European Journal of Clinical Nutrition*, 50, suppl. 1: S11-S23, 1996.
- SPEAKMAN, J. R. Principles, problems and a paradox with the measurement of energy expenditure of free-living subjects using doubly-labelled water. *Statistics in Medicine*, 9: 1.365-1.380, 1990.
- SPEAKMAN, J. R. The history and theory of the doubly labeled water technique. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68, suppl.: 932S-938S, 1998.
- SPURR, G. B.; REINA, J. C. & BARAC-NIETO, M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys: metabolic rate and estimated daily energy expenditure. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44: 113-126, 1986.

- SPURR, G. B. et al. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48: 552-559, 1988.
- VASCONCELLOS, M. T. L. & ANJOS, L. A. A simplified method for assessing physical activity level values for a country or study population. *European Journal of Clinical Nutrition*, 57: 1.025-1.033, 2003.
- VINKEN, A. G. et al. Equations for predicting the energy requirements of healthy adults aged 18-81 years. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69: 920-926, 1999.
- WAREHAM, N. J. et al. Feasibility of heart-rate monitoring to estimate total level and pattern of energy expenditure in a population-based epidemiological study: the Ely Young Cohort Feasibility Study 1994-5. *British Journal of Nutrition*, 78: 889-900, 1997.
- WAHRLICH, V. *Taxa Metabólica Basal em Adultos Residentes em Niterói, Rio de Janeiro, Brasil: estudo de base populacional*, 2005. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro: Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz.
- WAHRLICH, V. & ANJOS, L. A. Basal metabolic rate of young women living in tropical and temperate regions of Brazil. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 32, suppl. 5: S172, 2000.
- WAHRLICH, V. & ANJOS, L. A. Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura. *Cadernos de Saúde Pública*, 17: 801-817, 2001a.
- WAHRLICH, V. & ANJOS, L. A. Validação de equações de predição da taxa metabólica basal em mulheres residentes em Porto Alegre, RS. *Revista de Saúde Pública*, 35: 39-45, 2001b.
- WAHRLICH, V. et al. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate. *Clinical Nutrition*, 25: 687-692, 2006.
- WAHRLICH, V. et al. Basal metabolic rate of Brazilians living in the Southwestern United States. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61: 290-294, 2007.
- WEBB, P. *Human Calorimeters*. New York: Praeger Publishers, 1985.
- WEIR, J. B. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *Journal of Physiology*, 109: 1-9, 1949.
- WELK, G. J. Use of accelerometry-based activity monitors to assess physical activity. In: WELK, G. J. (Ed.) *Physical Activity Assessments for Health-Related Research*. Champaign: Human Kinetics, 2002.