

**FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ**  
**ESCOLA NACIONAL DE SAÚDE PÚBLICA SERGIO AROUCA -**  
**ENSP**

*Taxa Metabólica Basal em Adultos Residentes em Niterói, Rio de  
Janeiro, Brasil: Estudo de Base Populacional*

**Vivian Wahrlich**

Tese de Doutorado do curso de Pós-  
Graduação em Saúde Pública da  
Escola Nacional de Saúde Pública  
Sergio Arouca da Fundação  
Oswaldo Cruz.

**Orientador: Professor Doutor Luiz Antonio dos Anjos**

Rio de Janeiro

2005

*Taxa Metabólica Basal em Adultos Residentes em Niterói, Rio de Janeiro, Brasil: Estudo de Base Populacional*

**Vivian Wahrlich**

Tese submetida ao corpo docente da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor

Aprovada por:

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Cora Araújo

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciene Burlandy

---

Prof. Dr. Scott Going

---

Prof. Dr. Maurício Teixeira Leite de Vasconcellos

---

Prof. Dr. Luiz Antonio dos Anjos

Rio de Janeiro  
2005

Wahrlich, Vivian

Taxa metabólica basal em adultos residentes em Niterói, Rio de Janeiro, Brasil: Estudo de base populacional, Rio de Janeiro:Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, 2005.

viii, p. 108.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado) – Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, 2005.

1. Taxa metabólica basal.    2. Necessidade energética    3. Equações de  
predição  
4.Composição Corporal.    I. Tese.    II.ENSP    III.Fiocruz    IV. Título

*Ao meu filho Eduardo por todos os sorrisos e os momentos mais felizes da minha vida.*

*Aos meus pais pelo incentivo e apoio incondicional.*

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Luiz Antonio dos Anjos pela dedicada e cuidadosa orientação e pelo fundamental incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Timothy Lohman por ter-me recebido e orientado durante o Programa de Doutorado Sanduíche realizado na Universidade do Arizona, Estados Unidos da América, e por ter proporcionado as condições para realização dos estudos de validação dos instrumentos utilizados na PNAFS.

Ao Professor Doutor Scott Going pela disponibilidade em ajudar na elaboração do projeto de validação do VO2000 e por viabilizar a execução do mesmo.

Ao Professor Doutor Maurício Teixeira Leite de Vasconcellos pelo cuidadoso desenho amostral e correção dos dados, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

À Michele Graves pela atenção, amizade e valiosa ajuda durante o período em que estive na Universidade do Arizona.

À Rob Blew pelo treinamento e ajuda na realização das medidas antropométricas e de composição corporal com o DXA.

À Secretaria Acadêmica pelo sempre cordial e eficiente atendimento. Agradeço especialmente à Maria Cecília S. Barreiro e a Eduardo Pinto da Silva.

Aos bolsistas de iniciação científica e pesquisadores de campo que foram cruciais para a coleta de dados.

À Francine Moreira Bossan pelo seu empenho, dedicação e responsabilidade na execução da coleta de dados da PNAFS.

À Juliana da Mata Machado pela ajuda nos agendamentos e na coleta de dados.

A todos os participantes da pesquisa sem os quais seria impossível realizar este estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado (Proc. 141142/2001-4) e bolsa de doutorado sanduíche (Proc. 200837/2003-6).

## Resumo

A presente tese apresenta dados de taxa metabólica basal (TMB) em uma amostra representativa de adultos residentes em Niterói, Rio de Janeiro. A tese é formada por 3 artigos cujos objetivos foram, por ordem: validar o instrumento para avaliação da composição corporal; validar o instrumento de medição da TMB; medir a TMB na população adulta de Niterói e avaliar a adequação de equações de predição da TMB nessa população. No artigo 1, as medidas de composição corporal foram obtidas em 83 adultos entre 20 e 78 anos de idade por 2 sistemas: bioimpedância (BIA - Tanita TBF-305) e DXA. Houve uma pequena diferença significativa entre os valores de massa livre de gordura (MLG) e de % de gordura corporal (%GC) entre as duas técnicas. A BIA significativamente subestimou o %GC, porém para grupos de indivíduos o %GC e a MLG podem ser satisfatoriamente estimados. No artigo 2, a TMB foi medida em 25 voluntários com 2 calorímetros: VO2000 e DELTATRAC<sup>TM</sup>. Os valores de TMB medidos foram significativamente correlacionados ( $r=0.95$ ) e observou-se uma diferença média pequena de 2,8% entre a TMB obtida pelos calorímetros. O VO2000 mostrou-se um sistema válido para medir a TMB. No artigo 3, são apresentados os resultados de TMB coletados numa amostra representativa de adultos residentes em Niterói. A TMB média ( $\pm$  erro padrão) foi de  $5,835.5 \pm 73.7$  kJ.dia<sup>-1</sup> em homens e  $4,757.0 \pm 39.7$  kJ.dia<sup>-1</sup> em mulheres. Conclui-se que todas as equações de predição também se mostraram inadequadas para estimar a TMB nessa população.

Palavras-Chave: taxa metabólica basal, calorimetria indireta, equações de predição, requerimentos energéticos

## **Abstract**

The present dissertation reports the basal metabolic rate (BMR) data obtained in a representative sample of adults living in Niterói, Rio de Janeiro, Brazil. It is made of three papers with the following objectives: to validate a leg-to-leg bioimpedance (BIA) system to estimate body composition; to validate a portable indirect calorimeter (VO2000) to measure BMR; to measure BMR in adults living in Niterói and to compare measured values with estimated values. In the first paper, fat free mass (FFM) and percent of body fat (%BF) obtained with the BIA system was significantly lower than the values obtained by DXA in 89 healthy adults (aged 20-78 years). In the second paper, BMR measured with the VO2000 calorimeter was validated against a well-established reference system, the DELTATRAC™ in 25 subjects aged 20-78 years. Small (2.8%) non-clinically relevant mean differences ( $-0.145 \pm 0.341 \text{ MJ.day}^{-1}$ ) were found, and the results of the two devices were highly correlated ( $r=0.95$ ). The VO2000 calorimeter is a valid system to measure BMR. The third paper presents and discusses BMR data collected in the representative sample of adults living in Niterói. Mean ( $\pm$  SE) measured BMR values were  $5,835.5 \pm 73.7 \text{ kJ.day}^{-1}$  and  $4,757.0 \pm 39.7 \text{ kJ.day}^{-1}$  for men and women, respectively. It was shown that the currently available predictive equations for BMR are not adequate to estimate BMR in this population.

**Keywords:** Basal metabolic rate; indirect calorimetry; predictive equations; energy requirements.

## Sumário

	Página
<b>Apresentação</b>	<b>1</b>
<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>Objetivos</b>	<b>14</b>
<b>Métodos</b>	<b>15</b>
<b>Artigo 1</b> <b>Comparison of estimated percentage body fat and fat-free mass in adults by a leg-to-leg bioimpedance with dual-energy X-ray absorptiometry</b>	<b>27</b>
<b>Artigo 2</b> <b>Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate</b>	<b>34</b>
<b>Artigo 3</b> <b>Basal metabolic rate of Brazilians from Niterói, Rio de Janeiro</b>	<b>51</b>
<b>Discussão</b>	<b>73</b>
<b>Conclusão</b>	<b>80</b>
<b>Referências</b>	<b>81</b>
<b>Anexo 1</b>	<b>86</b>
<b>Anexo 2</b>	<b>104</b>
<b>Anexo 3</b>	<b>107</b>



## Índice de figuras

Figura		Página
<b>1</b>	Vista da balança de bio-impedância Tanita modelo TBF-305	<b>16</b>
<b>2</b>	Exemplo de medição da composição corporal através de DXA	<b>16</b>
<b>3</b>	Exemplo de medição da TMB através do VO2000 no estudo de validação (artigo 2)	<b>17</b>
<b>4</b>	Exemplo de medição da TMB através do DELTATRAC™ no estudo de validação (artigo 2)	<b>18</b>
<b>5</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres entre 20 e 30 anos de idade	<b>75</b>
<b>6</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres entre 30 e 60 anos de idade	<b>75</b>
<b>7</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres com mais de 60 anos de idade	<b>76</b>
<b>8</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em homens entre 20 e 30 anos de idade	<b>76</b>
<b>9</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em homens entre 30 e 60 anos de idade	<b>77</b>
<b>10</b>	Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield e PNAFS em relação à massa corporal em homens com mais de 60 anos de idade	<b>78</b>

## **Apresentação**

A presente tese é baseada em dados coletados numa subamostra de um inquérito domiciliar (Pesquisa de Nutrição, Atividade Física e Saúde – PNAFS), cujo objetivo final foi o de medir a taxa metabólica basal (TMB) em adultos residentes em Niterói, Rio de Janeiro, e comparar os valores com os estimados por equações de predição. A tese é apresentada em forma de artigos científicos, mas, inicialmente, fez-se uma breve introdução em que se enfocou o uso dos valores da medida da TMB na determinação dos requerimentos energéticos de populações. A seguir, apresentam-se os detalhes dos métodos usados na pesquisa e que não puderam ser incluídos nos três artigos que se seguem. O primeiro e o segundo artigos apresentam a validação dos instrumentos utilizados para medir a composição corporal (artigo 1, intitulado **Comparison of estimated percentage body fat and fat-free mass in adults by a leg-to-leg bioimpedance with dual-energy X-ray absorptiometry**) e a TMB (artigo 2, intitulado **Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate**) na pesquisa em Niterói. Essa parte foi realizada na Universidade do Arizona, em Tucson, onde a autora permaneceu por um ano dentro do Programa de Doutorado Sanduíche do CNPq. O terceiro artigo, intitulado **Basal metabolic rate of Brazilians from Niterói, Rio de Janeiro**, apresenta os resultados da TMB da população adulta de Niterói. Para finalizar, faz-se uma breve discussão que sumariza os principais achados.

## **Introdução**

A presente tese mediu a taxa metabólica basal (TMB) em uma subamostra de adultos de um inquérito domiciliar realizado em Niterói, Rio de Janeiro, e avaliou a adequação de equações de predição nessa população. Este capítulo apresenta uma revisão breve da importância e usos da medida da TMB e concentra-se, fundamentalmente, no histórico do processo de determinação dos requerimentos energéticos de populações, desde sua concepção até os dias atuais. Os outros fatores pertinentes à medição e predição da TMB podem ser encontrados em artigo publicado pela autora e que se encontra no Anexo 1.

### **Importância e usos da medida da TMB**

Um dos principais empregos da TMB está na determinação do requerimento energético de populações, que é definido como o nível de ingestão energética a partir dos alimentos que compensaria o gasto energético para a manutenção da dimensão e composição corporais e um nível de atividade física compatíveis com a boa saúde, a longo prazo, além de permitir a realização de atividade física socialmente desejada e economicamente necessária (FAO/WHO/UNU, 1985).

Deve-se ressaltar que o estabelecimento do requerimento energético de uma população, por sua vez, é extremamente importante na determinação dos volumes de alimentos necessários para o abastecimento nacional, afetando assim a economia, agricultura e estratégias de desenvolvimento e políticas em diversos países (James & Schofield, 1990). Muitos países utilizam estratégias de segurança alimentar para assegurar a disponibilidade de alimentos em períodos de escassez ou de interrupção no abastecimento através da compra ou liberação de estoques. Para isso as reservas de

segurança alimentar devem ser especificadas a partir de um percentual da necessidade energética anual da população (James & Schofield, 1990).

O requerimento energético também pode ser aplicado na avaliação nutricional da população. Para essa finalidade, utiliza-se a taxa de adequação (Vasconcellos & Anjos, 2001) que é obtida pela razão entre a ingestão alimentar observada e o requerimento estabelecido para uma população específica. Dessa forma, pode-se identificar parcelas da população que apresentam uma ingestão alimentar abaixo ou acima de suas necessidades, que podem resultar em efeitos deletérios como a subnutrição e a obesidade.

A informação do requerimento energético ainda pode ser empregada na definição da oferta energética em programas do governo que atendem grupos considerados vulneráveis. Recentemente a criação dos restaurantes populares, que é uma das estratégias do combate a fome proposta pelo Programa Fome Zero, visa fornecer refeições balanceadas acessíveis para a população de baixa renda. A oferta energética de cada refeição deve corresponder a 30% do requerimento energético estabelecido em 4800 kcal diárias (MDS, 2004).

O uso das informações de TMB, entretanto, não se limita apenas à determinação dos requerimentos energéticos. A TMB também é utilizada em estudos epidemiológicos sobre a ingestão alimentar em que se avalia o grau de confiabilidade da informação de inquéritos alimentares da população através da razão entre o valor de energia ingerida e a TMB (Wahrlich & Anjos, 2001a). Quando, em indivíduos obesos, esta razão é menor do que 1,2 costuma-se dizer que os indivíduos subestimaram a ingestão, visto que, os mesmos não poderiam ser obesos ingerindo somente 1,2 vezes a TMB (MacDiarmid &

Blundell, 1997), valor que é considerado como de sobrevivência (James & Schofield, 1990).

Da mesma forma, o nível de atividade física (NAF), obtido pela razão entre o gasto energético total diário e a TMB, é utilizado, com relativa frequência, como um índice na classificação da atividade física de indivíduos em estudos epidemiológicos (Anjos, 1999). Por exemplo, o NAF leve (1,55 e 1,56, para homens e mulheres, respectivamente; FAO/WHO/UNU, 1985) tem sido utilizado como ponto de corte abaixo do qual os indivíduos seriam considerados sedentários (Cervato et al., 1997; Martins et al., 1993; Rego et al., 1990).

Visto que a informação da TMB pode ter várias aplicações, é necessário garantir que sua determinação seja a mais exata possível, pois um erro em sua estimativa terá conseqüências tanto na interpretação de dados epidemiológicos, como também no estabelecimento do requerimento energético da população, já que os demais componentes do GE são dependentes do valor da TMB.

### **Histórico do Estabelecimento dos Requerimentos Energéticos**

Apesar de o requerimento energético de populações ser de extrema importância para orientar a produção e o abastecimento de alimentos, para dar subsídios para o planejamento, monitoramento de programas e políticas de nutrição governamentais, foi somente em 1936 que foi proposta - pela Liga das Nações - a primeira tabela internacional para os requerimentos de energia para ser utilizada pelos países membros com o intuito de reverter os problemas nutricionais desencadeados pela Grande Depressão de 1929. O relatório propunha um valor de 2400 kcal diárias para homens e mulheres vivendo em um clima temperado e que não fizessem trabalho manual. Para

aqueles indivíduos engajados em trabalho manual, deveriam ser adicionadas calorias ao valor estipulado de 2400 kcal, no caso de um homem, a necessidade corresponderia a 3000 kcal diárias (FAO, 1950).

Após a segunda guerra mundial, a escassez de alimentos abateu vários países e, nesse contexto, foi formado o primeiro Comitê sobre Requerimentos de Energia (FAO, 1950) com o propósito de definir as recomendações energéticas para a população a fim de orientar programas que visassem a melhora do suprimento alimentar. O Comitê avaliou a adoção de escalas de requerimentos de energia existentes baseados, principalmente, no consumo alimentar observado. No entanto, essas escalas careciam de informações mais detalhadas em relação à atividade física, o que limitava o uso das mesmas para definir os requerimentos energéticos. O Comitê considerou outros métodos para o estabelecimento dos requerimentos de energia, entre eles: o desenvolvimento de padrões para diferentes grupos populacionais, o estabelecimento dos requerimentos de acordo com as dimensões corporais e a taxa metabólica basal e o método fatorial. Esse último, considerado o método ideal, era na época descrito como o somatório dos itens que compunham o gasto energético (TMB, ação dinâmica específica dos alimentos e atividade física) em um período de 24 horas. Porém, a falta de conhecimento em relação aos componentes do gasto energético e suas distribuições, assim como intensidade das atividades ocupacionais e não-ocupacionais em diferentes populações, tornou a aplicação desse método inviável.

A alternativa proposta pelo Comitê foi o estabelecimento de uma referência a partir da qual se fariam extrapolações para a determinação dos requerimentos energéticos em diferentes populações. Para isto foi adotado o uso do homem e mulher referência para os quais havia informações detalhadas a respeito de medidas

antropométricas, condicionamento físico, consumo alimentar e gasto energético. O homem e a mulher referência tinham 25 anos de idade; massa corporal média de 65 kg e 55 kg, respectivamente; viviam em clima temperado (temperatura média anual em torno de 10°C); gozavam de boa saúde e apresentavam estado nutricional satisfatório. O homem referência tinha atividade física que incluía 8 horas de trabalho físico, 4 horas de atividade sedentária (ler, escrever), 2 horas de atividades ao ar livre e caminhada de 5 a 10 km por dia. Nos dias de folga praticava exercício ou esporte não extremamente extenuantes. O requerimento energético para esse homem era de 3200 kcal diárias para o ano inteiro. A mulher referência estava engajada em atividades domésticas, incluindo o cuidado de crianças, ou trabalho industrial leve. As atividades não-ocupacionais incluíam caminhada diária de 5 a 10 km e duas horas de atividades ao ar livre. Às vezes, essa mulher praticava esportes não extenuantes ou jardinagem. Para a mulher referência, o requerimento de energia foi estabelecido em 2400 kcal diárias para o ano inteiro.

O cálculo dos requerimentos energéticos para populações que se diferenciavam em relação à referência, em termos de nível de atividade física, massa corporal, idade e clima deveriam ser ajustados como descrito a seguir. Caso a população apresentasse massa corporal média diferente da referência, as seguintes fórmulas deveriam ser utilizadas

$$E = 152 (MC)^{0,73} \text{ para homens}$$

$$E = 123,4 (MC)^{0,73} \text{ para mulheres}$$

Onde,

E é o requerimento energético total

MC é a massa corporal média da população

Por outro lado, se a população apresentasse um nível atividade física diferente à referência, ajustes deveriam ser aplicados aos coeficientes das fórmulas acima apresentadas. Entretanto, o Comitê considerava que para a maioria das populações a média de atividade física se aproximaria daquela descrita para o homem e mulher referência. Somente após terem sido realizados esses ajustes é que os valores energéticos poderiam ser corrigidos de acordo com a idade e, por último, com a temperatura ambiente (média anual) à qual a população estava submetida. O Comitê sugeriu que os requerimentos deveriam ser reduzidos em 7,5 % para cada década após os 25 anos de idade. Em relação à temperatura ambiente, os requerimentos deveriam ser reduzidos em 5% para cada 10°C acima ou aumentados em 5% para cada 10°C abaixo da temperatura média anual utilizada como referência (10°C).

O Comitê (FAO, 1950) ressaltava que o método proposto para determinar os requerimentos de energia à partir do homem e mulher referência deveriam ser aplicados somente a populações ou grupos populacionais e que a aplicação a indivíduos era sujeita a erros. Não obstante, o Comitê reconheceu que esse método era experimental e que deveria ser revisto no futuro em termos da praticidade na determinação dos requerimentos de energia, assim como ser modificado de acordo com avanços no conhecimento sobre nutrição e saúde e com o aprimoramento das técnicas utilizadas em pesquisas de campo.

Em 1956, um segundo comitê foi formado para rever as recomendações do informe anterior. Neste novo relatório, publicado em 1957, foi recomendada a continuação do uso do homem e mulher referência mantendo as mesmas características previamente descritas (FAO, 1957). As únicas modificações feitas foram em relação aos ajustes para idade e temperatura ambiente. Enquanto o primeiro informe recomendava



uma redução constante nos requerimentos para cada década após os 25 anos, o segundo informe sugeria uma redução de apenas 3% para cada década após os 25 anos até 50 anos de idade; redução de 7,5% para cada década até 70 anos e redução de 10% para cada década após 70 anos de idade. Em relação à temperatura, o requerimento deveria ser aumentado em apenas 3% para cada 10°C abaixo da temperatura ambiente utilizada como referência, já que os indivíduos poderiam proteger-se melhor contra o frio do que o calor. Apesar do segundo Comitê ter sugerido pequenas modificações em relação ao primeiro informe de 1950, ele apontava para a necessidade de se estimar os requerimentos energéticos baseados no gasto energético e que mais pesquisas deveriam ser direcionadas para esse objetivo.

Em 1973, é publicado o terceiro informe sobre requerimentos energéticos no qual se redefinem as características do adulto utilizado como referência (FAO/WHO, 1973). Nesse informe, o homem e a mulher referência teriam entre 20 e 39 anos de idade, seriam saudáveis e fisicamente ativos e teriam massa corporal de 65 kg e 55 kg, respectivamente. O homem estaria engajado, nos dias de trabalho, em uma ocupação que envolveria uma atividade física moderada por 8 horas diárias. A mulher estaria engajada em 8 horas de trabalho doméstico, ou industrial leve ou outra atividade ocupacional moderada. Tanto o homem quanto a mulher, quando fora do trabalho, gastariam 8 horas dormindo, 4 a 6 horas sentados ou realizando atividade física leve e 2 horas caminhando durante atividade de recreação ou tarefas domésticas. Para essa nova definição de homem e mulher referência, a quantidade de energia foi reduzida para 3000 e 2200 kcal, respectivamente. Seguindo o exemplo dos informes anteriores, ajustes deveriam ser feitos para aquelas populações que se desviassem da referência. Porém cabe notar que a descrição do clima não fazia mais parte da caracterização do adulto

utilizado como referência, não sendo indicado nenhum ajuste para a temperatura ambiente. Para a idade foi recomendada uma redução para os requerimentos energéticos de 5% para cada década entre 40 e 59 anos de idade; de 10% entre 60 e 69 anos, e mais uma redução de 10% para 70 ou mais anos de idade. A atividade física só deveria ser ajustada para grupos populacionais que se diferenciavam, em muito, da referência, porém, para o cálculo dos requerimentos populacionais o nível de atividade física em média corresponderia à descrita para o adulto referência, ou seria pressuposto que a metade dos adultos estaria envolvida em uma atividade moderada e a outra metade, em atividade leve.

Em todos os informes (FAO, 1950; 1957; FAO/WHO, 1973) até então os requerimentos de energia foram baseados, principalmente, em informações do consumo alimentar observado. Esse método pressupõe que a quantidade de energia consumida por pessoas saudáveis e produtivas em suas ocupações reflete a necessidade energética, desde que a massa corporal seja mantida. Todavia, há críticas quanto a esse método pois em períodos de abundância de alimentos o consumo alimentar poderia ser maior do que o necessário se não houvesse nenhum fator limitante ao acesso de alimentos e, em períodos de escassez, ou acesso limitado, o consumo alimentar seria menor do que o necessário (FAO, 1950). Nessas situações, em que o balanço energético é inadequado, vários processos compensatórios poderiam ocorrer como a diminuição da atividade física ou alteração do tamanho corporal, no caso do balanço energético negativo, ou o acúmulo de gordura corporal quando um balanço energético positivo fosse sustentado por um longo período (Ferro-Luzzi, 2005). Dessa forma, a ingestão alimentar observada não é necessariamente aquela que mantém a massa corporal e o nível de atividade física adequados, assim como a saúde de um modo geral (FAO/WHO/UNU, 1985).

É a partir de 1985, com a publicação do informe da FAO/WHO/UNU que um novo enfoque é dado na determinação dos requerimentos de energia. Nesse novo informe, o requerimento de energia deveria ser determinado a partir do gasto energético (GE), ao invés da ingestão alimentar observada. O GE, por sua vez, é composto por TMB, ação dinâmica específica dos alimentos e atividade física (FAO/WHO/UNU, 1985). Como a TMB corresponde ao maior componente do GE total na população em geral, foi sugerido que o GE diário fosse expresso como múltiplos da TMB, para que os fatores que o alteram (massa corporal, idade, gênero) fossem apropriadamente controlados (FAO/WHO/UNU, 1985; James & Schofield, 1990). Para calcular o requerimento energético, levando-se em consideração os componentes do GE, foi proposto o método fatorial simplificado (James & Schofield, 1990) no qual seria necessário apenas determinar a TMB e designar o grau de atividade física ocupacional da população que poderia ser leve, moderado ou intenso (Tabela 1). Essa classificação é obtida pela razão entre o gasto energético total de 24 horas e a TMB estimada referente ao mesmo período e recebe o nome de nível de atividade física (NAF).

Tabela 1. Valores de NAF para as atividades de ocupação consideradas leve, moderada e intensa de acordo com o sexo, propostos pela FAO/WHO/UNU (1985).

	Leve	Moderada	Intensa
Homens	1,55	1,78	2,10
Mulheres	1,56	1,64	1,82

Conseqüentemente, o ponto de partida para a determinação dos requerimentos energéticos dependia da determinação da TMB em diferentes populações. Para essa

finalidade o Comitê de Expertos da FAO/WHO/UNU propôs o uso de equações de predição para a estimativa da TMB internacionalmente. Essas equações foram, inicialmente, derivadas por Schofield que compilou dados de TMB, medidos, principalmente, em europeus e norte-americanos em estudos realizados na primeira metade do século XX. Schofield (1985) gerou equações que eram específicas para homens e mulheres nas seguintes faixas etárias: 3 a 10 anos, 10 a 18 anos, 18 a 30 anos, 30 a 60 anos e acima de 60 anos de idade. O modelo, por ele proposto, utilizava somente a massa corporal na predição da TMB, visto que a introdução de outras variáveis (estatura, área de superfície corporal) pouco melhorava a estimativa. Embora reconhecendo que as equações desenvolvidas por Schofield (1985) poderiam superestimar a TMB em grupos étnicos diferentes, o Comitê de Expertos (FAO/WHO/UNU, 1985) sugeriu que uma versão revisada dessas equações fosse usada internacionalmente. A partir deste momento ressurgiu o interesse em medir e estimar a TMB em diferentes populações. Vários estudos realizados com o intuito de validar as equações apontaram que as mesmas forneciam valores médios de TMB superestimados, tanto para populações dos trópicos quanto de regiões temperadas (McNeill et al., 1987; Henry & Rees, 1991; Piers & Shetty, 1993; Valencia et al., 1994; Piers et al., 1997; Cruz et al., 1999; Wahrlich & Anjos, 2001b). No Brasil, também, foram conduzidos alguns estudos na tentativa de validar essas equações. No Rio de Janeiro, a TMB foi medida em dois grupos de indivíduos: em uma amostra aleatória de 70 coletores de lixo domiciliar do município do Rio de Janeiro (Anjos, 1998) e em um número pequeno (50) de universitárias com idade entre 19 e 29 anos (Cruz et al., 1999). A análise dos dados indicou que as equações da FAO/WHO/UNU (1985) superestimam a TMB em ambos os casos: média de  $14,1 \pm 7,0$  % para as universitárias (80 % dos casos, Anjos et al.,

1998), sendo que a superestimativa no caso dos lixeiros foi de aproximadamente 21 % (Anjos, 1998). Outro estudo, conduzido em mulheres entre 20 e 40 anos de idade residentes em Porto Alegre no Rio Grande do Sul, demonstrou que tanto as equações da FAO/WHO/UNU (1985) como as de Schofield superestimaram a TMB em 13,5 e 12,5%, respectivamente (Wahrlich & Anjos, 2001b).

Problemas relacionados ao banco de dados gerado por Schofield parecem ser responsáveis para tais inadequações das equações na estimativa TMB. Em uma análise mais detalhada do banco de dados, verificou-se a inclusão de um número grande de Italianos, na maioria militares, que apresentavam uma TMB mais elevada que os demais indivíduos incluídos na amostra, o que poderia ter introduzido um viés nas equações (Hayter & Henry, 1994). Cabe frisar que as medidas de TMB realizadas no início do século XX tinham como objetivo principal o diagnóstico de doenças da tireóide, não sendo realizadas com o propósito de estimar o requerimento energético de populações. Além do mais, nessa época era comum a utilização de calorímetros indiretos de circuito fechado para medir o consumo de oxigênio, o que poderia ter resultado em valores de TMB artificialmente elevados (Henry, 2001). Outra possibilidade é que os indivíduos que compuseram as amostras teriam composição corporal diferente daquela de populações contemporâneas, modificando, de certa forma, a relação entre massa corporal e TMB (Henry, 2001). Portanto, são inúmeras as causas que poderiam estar relacionadas com a inadequação das equações na estimativa da TMB nas populações contemporâneas, reforçando a necessidade de se reavaliar as equações propostas em 1985.

Desde a publicação do informe sobre requerimentos energéticos e protéicos (FAO/WHO/UNU, 1985), ocorreram muitos avanços nas técnicas de campo para a

medição do gasto energético. Um exemplo, é a utilização da água duplamente marcada (ADM), que tem como vantagem medir o gasto energético total de indivíduos em situações cotidianas. Em 2002, o Institute of Medicine publicou o informe sobre valores de referência dietética para Americanos e Canadenses (IOM, 2002). Nesse informe foram apresentadas equações para estimar o requerimento energético em adultos, a partir dos 19 anos de idade, com índice de massa corporal (IMC) entre 18,5 e 25 kg.m<sup>-2</sup>, baseadas em informações do gasto energético total diário obtidas com o método de ADM. As equações foram geradas para cada sexo e incluíam como variáveis independentes a massa corporal, a estatura, a idade e o NAF, que foi definido em 4 categorias: sedentário, pouco ativo, ativo e muito ativo. Entretanto, em uma análise mais detalhada dessas equações propostas, pode-se identificar semelhanças com método fatorial simplificado, o qual nada mais é do que a TMB multiplicada pelo NAF.

O uso do método de ADM para avaliar o GE parece ser bem atrativo na determinação dos requerimentos energéticos de populações. Apesar disso, o recente relatório sobre requerimento energético humano (FAO, 2004) vê com restrições o uso dessa técnica na determinação de requerimentos energéticos, uma vez que há uma enorme diversidade na dimensão e composição corporais e na atividade física usual da população adulta, o que não permite o uso universal de informações de GE medidos com ADM em grupos com um estilo de vida particular. Devido a isso, o informe atual optou pela continuidade do método fatorial para a determinação do requerimento energético em que os componentes do GE são expressos como múltiplos da TMB, controlando-se assim para diferentes dimensões e composição corporais. No entanto, foi sugerida a revisão das equações para a estimativa da TMB que é o alicerce para o método fatorial. Com esse objetivo, foi gerado um novo banco de dados, conhecido

como banco de dados de Oxford, que incluiu informações de TMB coletadas após 1950 através de calorímetros indiretos de circuito aberto (Henry, 2001). O novo banco de dados foi utilizado para derivar equações para homens e mulheres seguindo as faixas etárias propostas pelo informe de 1985. Essas novas equações foram testadas, mas, apesar de fornecerem estimativas menores do que as obtidas com as equações de 1985, o comitê decidiu pela continuidade no uso das equações propostas por Schofield (1985), já que a pouca melhora não justificaria a substituição das mesmas já tão divulgadas e popularizadas internacionalmente. Todavia, permanece a recomendação de que as equações atuais devam ser reavaliadas e reformuladas com base em banco de dados global em que TMB tenha sido medida de forma apropriada (FAO, 2004).

## **Objetivos**

O objetivo geral do presente trabalho foi medir a taxa metabólica basal dos adultos residentes em Niterói, Rio de Janeiro.

## **Objetivos Específicos**

1. Validar o instrumento de avaliação da composição corporal (artigo 1);
2. Validar o instrumento de medição da taxa metabólica basal (artigo 2);
3. Medir a TMB na população adulta de Niterói e verificar a adequação das equações de predição de TMB nessa população (artigo 3).

## **Métodos**

Esta seção apresenta os métodos usados para as validações dos equipamentos para a "Pesquisa de Nutrição e Atividade Física e Saúde" (PNAFS) e os aplicados na própria pesquisa, que não foram incluídos nos artigos que compõem essa tese. Em particular, detalha-se o desenho amostral, o esquema probabilístico de seleção da amostra, o processo de cálculo dos fatores de expansão e a sua calibração.

### **Estudos de Validação dos Equipamentos**

#### **Balança de Bio-impedância TANITA:**

Os modelos mais utilizados de bio-impedância (BIA) são os tetrapolares que têm os eletrodos colocados no pé e nas mãos e outros em que os eletrodos estão somente nas mãos ou na sola dos pés. Nesse último, os eletrodos são embutidos em uma balança o que torna bem prática a sua utilização, pois a medida é feita simultaneamente à obtenção do valor da massa corporal e o indivíduo não precisa se deitar. O aparelho de BIA utilizado na PNAFS foi do tipo balança (TANITA modelo TBF-305, Figura 1) cuja crítica principal reside no fato dele somente medir a impedância dos membros inferiores. Especula-se que a distribuição de gordura poderia ser um fator que levaria a inadequação desse sistema na estimativa da composição corporal. Em geral, as equações dos fabricantes só incluem as medidas de massa corporal, estatura e a impedância como preditores da composição corporal. Dessa forma, um estudo de validação foi desenhado para verificar a possível influência de outras medidas antropométricas sobre a estimativa dos parâmetros da composição corporal (artigo 1), tendo-se como medida ouro a absorptiometria de dupla energia de raio X (DXA, Figura 2).





Figura 1. Vista da balança de bio-impedância Tanita modelo TBF-305.



Figura 2. Exemplo de medição da composição corporal através de DXA.

### **Calorímetro VO2000:**

A TMB, informação primordial do presente estudo, foi medida com um calorímetro VO2000 (Figura 3) que já havia sido validado durante o repouso e em atividades leves, moderadas e máximas (Novitsky et al., 1995; Melanson et al., 1996; Wideman et al., 1996), mas nunca em situações próximas do basal. Como esse calorímetro utiliza um sistema revolucionário em termos de amostragem de ar (somente uma pequena fração de ar é amostrada para as medições das frações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>), e a ventilação é medida no próprio pneumotacômetro, por diferencial de pressão, achou-se necessário fazer a validação desse instrumento sob condições basais.



Figura 3. Exemplo de medição da TMB através do VO2000 no estudo de validação (artigo 2).

Como medida padrão de TMB utilizou-se o calorímetro DELTATRAC™ que utiliza o sistema “ventilated hood” para se medir a troca gasosa (Figura 4). Esse calorímetro é considerado como um sistema padrão de medição da TMB (Tissot et al., 1995; Wells & Fuller, 1998, Littlewood et al. 2002).

O calorímetro VO2000 demonstrou ser adequado para as medições de troca gasosa em condições basais, mas alguns sujeitos não conseguiram se adaptar à máscara facial (artigo 2).



Figura 4. Exemplo de medição da TMB através do DELTATRAC™ no estudo de validação (artigo 2).

### **Desenho de amostra da PNAFS:**

A PNAFS (Pesquisa de Nutrição, Atividade Física e Saúde), realizada pelo Laboratório de Avaliação Nutricional e Funcional da Universidade Federal Fluminense (LANUFF) no período entre janeiro e dezembro de 2003, teve como objetivos avaliar o estado nutricional; medir a taxa metabólica basal; estimar o gasto energético diário e descrever o padrão de atividade física de adultos residentes em Niterói. A PNAFS foi financiada pelo CNPq (Procs. 471172/2001-4 e 475122/2003-8) e pela Fundação Oswaldo Cruz – Fiocruz (PAPES III – Programa de Apoio a Projetos estratégicos em Saúde – 250.139) e obteve aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Fiocruz (Anexo 2). A PNAFS também contou com o apoio da Escola Nacional de Ciências Estatísticas do IBGE, para aspectos ligados à amostragem e ao material de apoio à coleta de dados.

Para a PNAFS foi desenhada uma amostra probabilística para representar os adultos com idade superior a 20 anos residentes em Niterói, estado do Rio de Janeiro. O município de Niterói possui uma área de 131 km<sup>2</sup> e está dividido em 705 setores censitários, dos quais 696 possuem 143.924 domicílios particulares permanentes (DPP) com uma população residente de 458.274 segundo informações do Censo Demográfico 2000 (CD2000) (IBGE, 2004).

O desenho da amostra incluiu três estágios de seleção: setores censitários, domicílios e indivíduos. No primeiro estágio, os setores foram ordenados em função da renda média dos responsáveis pelos domicílios e, em seguida, foi feita a seleção sistemática dos setores usando-se um esquema de probabilidade proporcional ao tamanho do setor. A medida do tamanho do setor foi o número de DPP, limitado no intervalo [40;800], para diminuir a variância do fator de expansão. Dessa forma, setores

com menos do que 40 DPP ficaram com tamanho 40, setores com 40 a 800 DDP ficaram com o número real de DPP e os setores com mais de 800 DPP ficaram com o tamanho igual a 800. A ordenação prévia dos setores e sua seleção sistemática resultaram em uma estratificação implícita que garantiu a representação de todos os níveis socioeconômicos do município de Niterói. Por restrições orçamentárias, decidiu-se limitar o tamanho da amostra em 110 setores.

No segundo estágio, para cada setor selecionado, foi realizada a seleção aleatória com igual probabilidade de 80 domicílios, que deveriam ser visitados até que se obtivessem 16 entrevistas domiciliares realizadas por setor, utilizando-se um esquema de amostragem inversa (Haldene, 1945). A amostragem inversa pode ser definida como um método no qual verifica-se a quantidade de unidades que precisam ser observadas para que seja obtido o número desejado de sucessos, que, no caso, foram definidos como entrevistas realizadas em domicílio com pelo menos um adulto ( $\geq 20$  anos de idade). Dessa forma, ao invés de definir previamente o tamanho da amostra (número de domicílios a serem entrevistados, independente da entrevista ser realizada ou não), foi definido o número de entrevistas a serem realizadas e uma ordem de visita aos domicílios para obtenção da entrevista, observando-se o número de domicílios que foi necessário visitar para obter o número definido de 16 entrevistas realizadas. Esse método tem como vantagens: (1) não ser necessária a correção do tamanho de amostra calculada para compensar a taxa esperada de não-resposta, que dificilmente pode ser ajustada em nível de setor; (2) evitar o uso de *over-sampling*, quando o número mínimo necessário de entrevistas realizadas não for atingido, ou seja, quando a compensação da não-resposta for insuficiente; (3) dispensar a correção de não-resposta durante o processo de expansão da amostra para a população; (4) incluir um procedimento de

varredura por amostragem, que é menos custoso do que a técnica de *screening* descrita por Kalton & Anderson (1986).

Por questões orçamentárias, a folha de coleta do CD2000 (FC2000) foi utilizada ao invés de se fazer a listagem dos domicílios nos setores selecionados. Assim, a amostragem inversa selecionou, com igual probabilidade entre um e o total de DPP do setor, 80 números de ordem dos domicílios da FC2000. Como a FC2000 numera seqüencialmente os DDP e fornece os endereços de cada domicílio, uma vez selecionados os números de ordem dos domicílios a visitar, a lista de endereços dos domicílios foi elaborada respeitando a seqüência de seleção.

No terceiro estágio, um adulto ( $\geq 20$  anos de idade) foi selecionado com igual probabilidade dentre os adultos do domicílio que atendessem, simultaneamente, aos pré-requisitos para o monitoramento da frequência cardíaca e para a medida da taxa metabólica basal (TMB). Dessa forma, o adulto não poderia apresentar nenhuma condição clínica capaz de influenciar a frequência cardíaca ou o metabolismo; não poderia ser gestante ou estar amamentando; não poderia estar fazendo uso de medicamentos que alterassem a frequência cardíaca ou o metabolismo; ou em dieta para emagrecimento. Devido ao laboratório estar equipado com apenas um calorímetro foi necessário reduzir o número de pessoas a serem avaliadas por setor. Dentre os 16 adultos selecionados por setor censitário, previu-se a medição da TMB em uma subamostra por setor.

As probabilidades de inclusão foram calculadas tendo por base o número de casos favoráveis dividido pelo de casos possíveis, exceto no caso da seleção de domicílios, onde o estimador proposto por Haldane (1945) considera também, a razão entre o número de domicílios da população-alvo visitados e o número previsto de

sucessos na amostra, ambos com um grau de liberdade a menos. Dessa forma, o desenho de amostra da PNAFS pode ter seu esquema probabilístico de seleção representado pelas expressões apresentadas a seguir.

---

### Esquema do desenho da amostra da PNAFS

---

Indicado por  $i$  o índice do setor selecionado, por  $j$  o índice do domicílio selecionado e por  $k$  o índice do adulto selecionado, a probabilidade de inclusão na amostra de um adulto qualquer é igual ao produto das probabilidades de inclusão do setor  $i$ , representada por  $P(S_i)$ , do domicílio  $j$ , representada por  $P(D_{ij} / S_i)$  e do adulto  $k$ , representada por  $P(A_{ijk} / D_{ij} \cap S_i)$ . Essas probabilidades constam das expressões abaixo:

$$(1) \quad P(S_i) = \frac{n \times M_i}{M};$$

$$(2) \quad P(D_{ij} / S_i) = \frac{d_i}{n_i} \times \frac{n_i - 1}{M_i^* - 1}; \text{ e}$$

$$(3) \quad P(A_{ijk} / D_{ij} \cap S_i) = \frac{1}{M_{ij}^*}, \text{ onde}$$

$n$  é o tamanho da amostra de setores, ou seja, 110;

$M_i$  é a medida de tamanho associada ao setor  $i$ , definida como o número de domicílios particulares permanentes do setor limitado no intervalo  $[40, 800]$ , ou seja,  
 $M_i = \text{máximo} \{ 40 ; \text{mínimo} [ M_i^* ; 800 ] \};$

$M$  é a soma das medidas de tamanho de todos os setores, ou seja,  $M = \sum_{i=1}^N M_i$ , onde  $N$

é o número de setores de Niterói;

$n_i$  é o tamanho da amostra efetiva de domicílios (ou de adultos, já que apenas um adulto é selecionado por domicílio) do setor  $i$ , que foi prefixado em 16 domicílios por setor, ou seja, é o número de entrevistas realizadas em domicílios da população alvo;

$d_i$  é o número de domicílios da população-alvo (constituída pelos domicílios particulares permanentes onde resida pelo menos um adulto elegível para entrevista) visitados no setor  $i$  para a obtenção das 16 entrevistas realizadas do setor;

$M_i^*$  é o número de domicílios particulares do setor  $i$ .

$M_{ij}^*$  é o número de adultos elegíveis para seleção no domicílio  $j$  do setor  $i$ .

---

Os fatores de expansão naturais do desenho de amostra utilizados são definidos como o inverso das probabilidades de inclusão em cada estágio de seleção. Assim, o fator de expansão natural de um adulto é igual ao produto dos inversos das expressões 1 a 3, acima. No entanto, o uso dos dados da FC2000 implicou a seleção de domicílios inexistentes no momento da pesquisa, e de alguns para os quais não foi possível determinar se pertenciam ou não à população amostrada (domicílios vagos ou sem adulto). Logo, a probabilidade de inclusão de um domicílio, condicionada à seleção do setor (expressão 2 acima), teve que ser subdividida em três probabilidades: (1) de ser visitado; (2) de pertencer à população amostrada ou de ser elegível; e (3) de ser um dos 16 primeiros domicílios elegíveis a concordar com a realização da entrevista, que correspondem, respectivamente, às três razões apresentadas na expressão 4 abaixo. Com essa correção, o fator de expansão natural do desenho, a ser aplicado para obtenção de estimativas a partir dos dados dos DPP entrevistados e de todos os moradores é apresentado na expressão 5 abaixo.

Pelo fato de necessitar-se de uma subpopulação de adultos saudáveis, a amostra desenhada com o objetivo de estudar a TMB apresentou um viés de seleção, uma vez que só puderam participar da pesquisa aqueles domicílios onde pelo menos um adulto saudável, ou seja, elegível para a monitoração da frequência cardíaca.

Se o viés de seleção de domicílios com adultos saudáveis não pôde ser corrigido, o viés relacionado à distribuição por sexo e idade da população de Niterói foi corrigido por meio da calibração dos pesos amostrais. De fato, a justificativa mais comum para a calibração dos pesos amostrais é manter a coerência com dados populacionais disponíveis e permitir, até certo ponto, corrigir vieses de seleção, tornando as estimativas coerentes com totais populacionais obtidos por outras fontes.



---

## Fatores de expansão naturais do desenho e fatores calibrados

---

Representando por  $i$  o índice do setor selecionado e por  $j$  o índice do domicílio selecionado, a probabilidade corrigida de inclusão na amostra de um domicílio  $j$ , representada por  $P^C(D_{ij} / S_i)$  é dada por:

$$(4) \quad P^C(D_{ij} / S_i) = \frac{v_i}{M_i^*} \times \frac{d_i}{v_i} \times \frac{n_i - 1}{d_i - 1}, \text{ onde}$$

$n_i$  é o tamanho da amostra efetiva de domicílios do setor  $i$ , que apesar de prefixado em 16 domicílios por setor, recebe o valor do número de entrevistas de fato realizadas no setor;

$d_i$  é o número de domicílios da população-alvo (constituída pelos DPP permanentes onde reside pelo menos um adulto elegível para entrevista) visitados no setor  $i$  para a obtenção das 16 entrevistas realizadas do setor;

$M_i^*$  é o número de domicílios particulares do setor  $i$ ; e

$v_i$  o número de domicílios visitados no setor  $i$ .

O peso (ou fator de expansão) a ser aplicado aos dados de domicílio  $i$  do setor  $j$ , representado por  $W_{ij}$ , é dado pela expressão (5), onde o inverso da probabilidade de pertencer à população amostrada (ou de ser elegível) é suprimida para evitar expandir a subpopulação elegível para a população total:

$$(5) \quad W_{ij} = \frac{M}{n \times M_i} \times \frac{M_i^*}{v_i} \times \frac{d_i - 1}{n_i - 1}.$$

O peso calibrado a ser aplicado aos dados de domicílios ou nas análises onde todos os moradores são considerados corresponde a:

$$(6) \quad W_{ij}^C = g_{ij} \times W_{ij}, \text{ onde } g_{ij} \text{ é o fator de calibração associado ao domicílio } j \text{ do setor } i.$$

No caso das análises relacionadas a dados obtidos apenas para o adulto selecionado, o peso natural do desenho para o adulto  $k$  do domicílio  $j$  do setor  $i$ , representado por  $W_{ijk}$ , é dado pela expressão (7).

$$(7) \quad W_{ijk} = \frac{M}{n \times M_i} \times \frac{M_i^* \times (d_i - 1)}{v_i \times (n_i - 1)} \times M_{ij}^*$$

O peso calibrado do adulto  $k$  do domicílio  $j$  do setor  $i$ , pertencente ao pós-estrato de calibração  $h$ , representado por  $W_{hijk}^C$ , é dado pela expressão (8).

$$(8) \quad W_{hijk}^C = W_{ij}^C \times M_{ij}^* \times \frac{T_h}{\hat{T}_h}, \text{ onde:}$$

$T_h$  é o total populacional obtido do Censo demográfico 2000 para o pós-estrato  $h$ ; e

$\hat{T}_h$  é a estimativa que o peso inicial do adulto, definido por  $W_{hijk}^C = W_{ij}^C \times M_{ij}^*$ , produziria para o total do pós-estrato  $h$ .

---

Além disso, o uso dos dados da FC2000 resultou em uma amostra que não selecionou DPP novos e, em consequência, captou apenas a extinção de domicílios, tendo, portanto, uma tendência a subestimar a população, o que conduziu à necessidade de calibrar os pesos para recuperar os totais populacionais do CD2000.

A idéia básica da calibração é a de estimar fatores, denominados fatores de calibração, para multiplicar os pesos amostrais de forma a minimizar a diferença entre os totais populacionais estimados e os totais conhecidos da população para variáveis auxiliares da calibração. Esta técnica, conhecida como *integrated household weighting*, determina por regressão os valores dos fatores de calibração de forma a minimizar, simultaneamente, as diferenças entre os totais estimados de domicílios e pessoas e os valores conhecidos, para um conjunto de pós-estratos definidos, de forma que o fator de expansão do domicílio seja o mesmo para todos os seus moradores. Para a amostra completa da PNAFS, os pós-estratos foram definidos pela combinação de sexo e grupos etários decenais até 70 anos e para o grupo de 70 anos ou mais. Os fatores de expansão dos domicílios foram calibrados de forma a minimizar as diferenças nos totais populacionais dos pós-estratos, observadas entre as estimativas obtidas com o fator natural do desenho e os totais conhecidos do CD2000. O peso calibrado de domicílio consta da expressão 6 acima.

O peso do desenho (ou natural) do adulto, que pode ser calculado pelo produto entre o peso natural do domicílio e o número de adultos moradores no domicílio, apresentado na expressão 7 acima, não foi utilizado por não corrigir os vieses de seleção referidos anteriormente. Assim, de posse do peso calibrado do domicílio, foi calculado um peso inicial do adulto, correspondente ao peso calibrado do domicílio multiplicado pelo número de adultos do domicílio. Em seguida, este peso inicial do adulto foi

corrigido para cada pós-estrato definido, a fim de assegurar que o peso calibrado do adulto conduzisse a totais estimados iguais aos obtidos no CD2000 para os pós-estratos definidos. Essa correção foi feita, por pós-estrato, pela razão entre o total do CD2000 e a estimativa obtida com o peso inicial do adulto, como indica a expressão 8, acima. Em função das diferentes subamostras de adultos selecionadas para os diferentes temas considerados na PNAFS, além da não-resposta diferenciada observada na subamostra de cada tema, o tamanho final das subamostras conduziu à definição de pós-estratos distintos por tema da pesquisa.

Para a subamostra de adultos com medição de TMB, a calibração foi feita com base em pós-estratos definidos por sexo, cinco classes etárias (de 20 a 29 anos, de 30 a 39 anos, de 40 a 49 anos, de 50 a 59 anos, e mais de 60 anos) e os décimos de renda média dos responsáveis pelos domicílios do setor agregados em três grupos (30% mais pobres, 40% intermediário e 30% mais ricos).

Para o terceiro artigo foram derivadas equações de regressão simples e multivariada tendo como variável dependente a TMB. Cabe frisar que para o tipo de análise realizada na PNAFS seria necessário que a variável resposta tivesse distribuição normal, porém não há atualmente nenhum programa estatístico que inclua uma rotina para testar a normalidade para amostras complexas (entendidas como as que usam estratificação e conglomeração em seu desenho) com pesos calibrados. Pretende-se produzir, em um futuro próximo, uma rotina na linguagem R para tratar esta situação e, caso seja evidenciada a falta de normalidade dos valores de TMB, uma nova análise será gerada. Portanto, as regressões apresentadas no terceiro artigo devem ser vistas com cautela.

**Artigo 1**

**Aprovado para publicação no  
International Journal of Body Composition Research  
(Galley)**

# Comparison of estimated percentage body fat and fat-free mass in adults by a leg-to-leg bioimpedance and dual-energy X-ray absorptiometry

V. Wahrlich<sup>1</sup>, L.A. Anjos<sup>1,2</sup>, R.M. Blew<sup>3</sup>, S.B. Going<sup>3</sup> and T.G. Lohman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, Brazil; <sup>2</sup>Laboratório de Avaliação Nutricional e Funcional, Departamento de Nutrição Social, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, Brazil; <sup>3</sup>Department of Physiology, University of Arizona, Tucson, AZ; USA.

Leg-to-leg bioimpedance analysis (BIA) is simpler and more suitable than traditional BIA techniques for assessing body composition (BC) in large epidemiological samples. Validation studies of current BIA systems have shown good performance compared to standard BC methods despite the concern that these devices measure only the lower body impedance. The aim of this study was to assess whether the introduction of waist and hip circumferences improves the prediction of BC of a leg-to-leg BIA system using dual energy x-ray absorptiometry (DXA) as the criterion method. Eighty-nine healthy adults (aged 20–78 years) participated in the study (37 men and 52 women). The biases (mean difference) for both percent body fat (%BF) and fat-free mass (FFM) were low but significant ( $P < 0.01$ ). Inclusion of hip circumference, but not waist or waist/hip ratio, improved the estimation of both %BF and FFM. For both genders, the best predictive equation to estimate %BF<sub>DXA</sub> using multiple regression models included %BF<sub>BIA</sub>, age and hip circumference ( $R^2=0.82$ ;  $SEE=3.2\%$  for men and  $R^2=0.86$ ;  $SEE=2.9\%$  for women). FFM<sub>BIA</sub> alone was a poor predictor of FFM<sub>DXA</sub> ( $R^2=0.74$ ;  $SEE=4.2$  kg for men and  $R^2=0.73$ ;  $SEE=2.5$  kg for women). The best predictive equations to estimate FFM<sub>DXA</sub> included resistive index (stature<sup>2</sup>/Z), body mass, hip circumference, age and Z ( $R^2=0.90$ ;  $SEE=2.9$  kg for men and  $R^2=0.85$ ;  $SEE=2.0$  kg for women). A significant underestimation of %BF is evident using the leg-to-leg BIA but at the group level, %BF and FFM can be satisfactorily predicted when the hip circumference is introduced in the predictive equations.

*Key words:* leg-to-leg bioelectrical impedance analysis, body composition, dual energy x-ray absorptiometry.

## Introduction

Obesity is a major public health concern in both developed and developing countries [1,2] and there is a growing interest in the development and validation of simple, inexpensive and practical methods of body composition assessment for large-scale epidemiological studies. Bioelectrical impedance analysis (BIA) is a promising alternative way of predicting body fatness which has been widely used and has good agreement with other standard methods of body composition assessment [3]. There are several different models of BIA devices available. The traditional tetrapolar model measures whole body impedance and is widely considered a valid method to assess body composition [4,5]. Usually, the measurement is done with the subject lying on a non-conductive surface [6] which may not be suitable for many field studies. A more practical model is leg-to-leg BIA in which the measure is done with the subject standing on a scale while body mass is simultaneously obtained [7]. There

has been some concern that these devices measure only the lower body impedance, yet they seem to perform as well as the conventional tetrapolar units [3,7]. However, it has been speculated that estimates of percent body fat (%BF) obtained with a leg-to-leg BIA could be influenced by fat distribution [8,9]. In general, the proposed equations only include variables that do not account for differences in body fat distribution, such as stature, body mass and impedance (Z) or the resistive index (stature squared/Z). Therefore the aim of the present study was to assess whether the

*Address for correspondence:* Timothy G. Lohman PhD, Department of Physiology, 101 Ina Gittings Building, University of Arizona, Tucson, AZ 85721-0093, USA.

Email: lohman@u.arizona.edu

Tel. + 1 520 6212004

Fax. + 1 520 6263995

This paper was presented at the 52nd Annual meeting of the American College of Sports Medicine, Nashville, TN, USA, June 1–4, 2005.

introduction of anthropometric measurements that reflect body fat distribution (waist and hip circumferences) improves the prediction of body composition for a leg-to-leg bioimpedance system compared to dual energy x-ray absorptiometry (DXA) as the criterion method.

### Subjects and methods

A total of 89 subjects (37 males and 52 females) between 20 and 78 years of age participated in the study. Subjects were recruited from the participants in a community physical activity and weight loss program and members of an informal Brazilian club in Tucson, Arizona. Exclusion criteria included the presence of cancer or severe chronic disease, history of eating disorders, pregnancy or nursing, use of medication which could affect fluid and electrolyte balance, cardiac pacemaker, body asymmetry due to amputation, unilateral hemi-paresis, or neuromuscular conditions. The project was approved by the Institutional Review Board of the University of Arizona and all participants gave written informed consent prior to participation.

Body mass, stature, waist and hip circumferences were obtained in triplicate with the subjects wearing light clothes and barefoot. Stature was measured to the nearest 0.1 cm using a SHORR height board with the reading made after a maximal inspiration. Circumferences were measured with an inelastic tape measure to the nearest 0.1 cm. Waist circumference was measured at the midpoint between the lower rib margin and the iliac crest and the hip circumference was measured at the widest point over the greater trochanters. Body mass was measured to the nearest 0.2 kg using a Tanita TBF-305 scale simultaneously with BIA measurement. Body mass index (BMI) was derived for each subject from the ratio between body mass (kg) and the squared stature (m<sup>2</sup>).

The adult mode option on the Tanita system was used. The system gives the measured impedance (Z) in ohms and the calculated %BF (%BF<sub>BIA</sub>) and FFM (FFM<sub>BIA</sub>). Prior to the BIA measurements subjects were instructed to refrain from food or drink within three hours; to avoid exercise for the previous 12 hours; not to ingest alcohol within 48 hours, and to avoid lying or sitting for an extended period of time (>30 min) within one hour of testing.

DXA scans were performed by an experienced technician using a total body fan beam densitometer (GE/Lunar Prodigy, Madison, WI) according to standard subject positioning and data acquisition protocols. The scans were analyzed using the GE Lunar Prodigy software version 5.60.003. The machine was calibrated daily following the manufacturer instructions for maintenance and use. Based on repeat scans, DXA precision for the Prodigy in our lab is 0.5% for total body lean and 0.8% for total body fat. All female subjects of childbearing age were screened for pregnancy prior to undergoing DXA scanning. Sensitive urine-based pregnancy kits were used to test for presence of

even low levels of human chorionic gonadotropin (hCG).

Body composition measures included %BF and fat-free mass (FFM) obtained by the two methods (DXA and BIA). Bland and Altman plots were used to assess the agreement between methods [10]. The limits of agreement were determined as the bias (mean difference)  $\pm$  2 SD of the difference. Regression analyses were performed using the DXA estimates of body composition (%BF<sub>DXA</sub> and FFM<sub>DXA</sub>) as dependent variables and BIA estimates as independent variables. Multiple regression analyses were performed to develop the best predictive equations of %BF<sub>DXA</sub> and FFM<sub>DXA</sub> as dependent variables and stature, body mass, BMI, hip and waist circumferences, waist/hip ratio (WHR), age, and body composition variables obtained by BIA (%BF<sub>BIA</sub>, FFM<sub>BIA</sub>, impedance (Z), and resistive index=stature squared/Z) as independent variables. All regressions were performed for males and females separately using the Statistical Analysis Systems (SAS Institute Inc., Gary, NC) release 8.02 for microcomputers.

**Table 1.** Description of the subjects.

Variables	Males (n=37)		Females (n=52)	
	Mean (Range)	SD	Mean (Range)	SD
Age (years)	46.6 (22.9–78.3)	15.8	45.2 (20.0–77.3)	16.8
Body mass (kg)	86.8 (68.6–132.8)	15.8	63.1 (39.0–94.1)	11.6
Stature (cm)	176.7 (162.7–188.1)	7.3	161.0 (138.6–174.1)	6.8
BMI (kg.m-2)	27.8 (20.6–38.3)	4.3	24.3 (16.8–33.4)	3.9
Waist circumference (cm)	96.7 (77.3–130.0)	11.8	83.1 (58.8–114.8)	11.3
Hip circumference (cm)	104.4 (93.4–124.9)	7.6	101.6 (80.1–125.7)	10.0
WHR	0.92 (0.81–1.08)	0.06	0.82 (0.67–0.94)	0.06
Impedance (ohms)	452 (327–581)	62	552 (415–692)	58
BIA:				
Body fat (%)	23.7 (11.0–35.0)	6.6	34.4 (17.0–53.0)	8.2
Body fat mass (kg)	21.4 (7.8–44.8)	9.3	22.4 (6.6–46.1)	8.9
Fat-free mass (kg)	65.4 (53.7–88.0)	7.8	40.6 (30.0–50.6)	4.8
DXA:				
Body fat (%)	27.3 (7.6–38.7)	7.3	36.2 (18.0–51.5)	7.4
Body fat mass (kg)	24.4 (5.4–51.4)	9.9	23.4 (7.0–43.9)	8.5
Fat-free mass (kg)	62.5 (45.6–81.4)	8.2	39.6 (29.3–54.6)	4.8

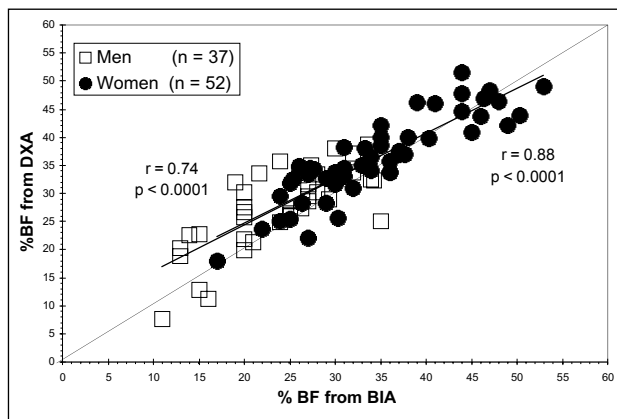
BMI = Body mass index (body mass.stature<sup>-2</sup>)

WHR = Waist to hip ratio

**Results**

A description of the physical characteristics of the subjects is given in Table 1. BMI ranged from 16.8 to 38.3 kg.m<sup>-2</sup> across both men and women. Women had a mean BMI within the normal range (< 25.0 kg.m<sup>-2</sup>) while mean %BF<sub>BIA</sub> and %BF<sub>DXA</sub> were above 30% (Table 1). Men on average, based on mean BMI, were overweight (27.8 kg.m<sup>-2</sup>) whereas mean %BF<sub>BIA</sub> was 23.7 % and %BF<sub>DXA</sub> was 27.3%. Overall, obesity (BMI ≥ 30 kg.m<sup>-2</sup>) was observed in 20% of the sample (32.4% of men and 11.5% of women).

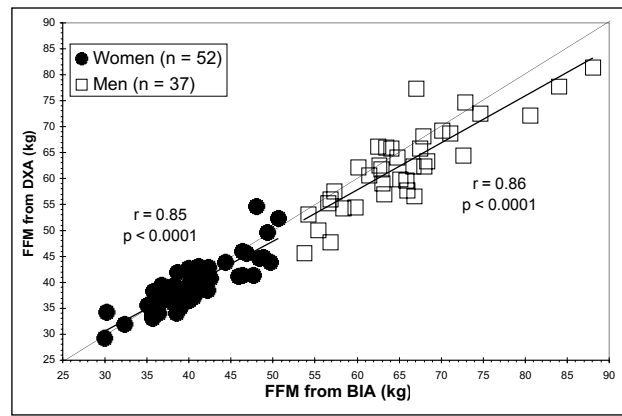
The correlation between %BF<sub>BIA</sub> versus %BF<sub>DXA</sub> was 0.74 for men and 0.88 for women (Figure 1) and 0.85 and 0.86 for FFM (Figure 2). The mean bias for both %BF and FFM was significant (*P* < 0.01): -1.7% and -3.6% for %BF for women and men, respectively and 1.0 kg and 3.0 kg for FFM. The Bland and Altman plots showed good agreement between methods with non-significant low correlation for %BF (Figure 3) and FFM (Figure 4).



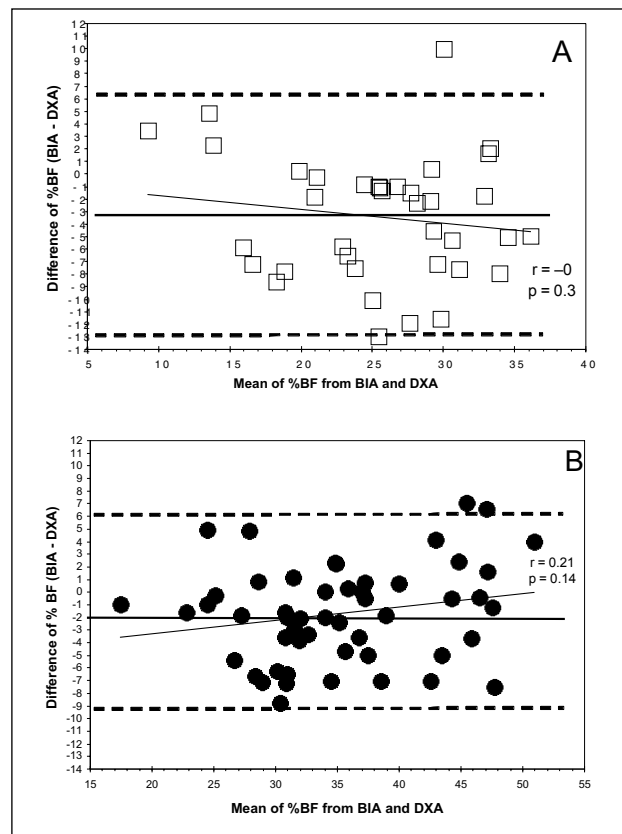
**Figure 1.** Relationship between %BF measured by DXA and TANITA in men and women. The line of identity and the lines of best fit along with the correlation coefficients are presented for men and women. The predictive equations are presented in Table 2.

Regression of %BF<sub>BIA</sub> on %BF<sub>DXA</sub> yielded R<sup>2</sup> (SEE) of 0.56 (5.0%) and 0.78 (3.5%) for men and women respectively with nearly identical regression lines. Hip circumference and age significantly improved the estimation of %BF for both men and women. The best predictive equation in multiple regression analysis also included squared %BF<sub>BIA</sub> (Table 2; R<sup>2</sup>=0.82; SEE=3.2% and R<sup>2</sup>=0.86; SEE=2.9%, for women and men, respectively).

Regression of FFM<sub>BIA</sub> on FFM<sub>DXA</sub> yielded R<sup>2</sup> (SEE) of 0.74 (4.3 kg) and 0.73 (2.5 kg) for men and women, respectively. Using the resistive index (stature<sup>2</sup>/Z) as the only dependent variable by itself was not an effective model (Table 3, lower R<sup>2</sup> and higher SEE) for both men (R<sup>2</sup>=0.55, SEE=5.6 kg) and women (R<sup>2</sup>=0.67, SEE=2.8 kg). The addition of body mass, hip circumference, and age substantially improved the

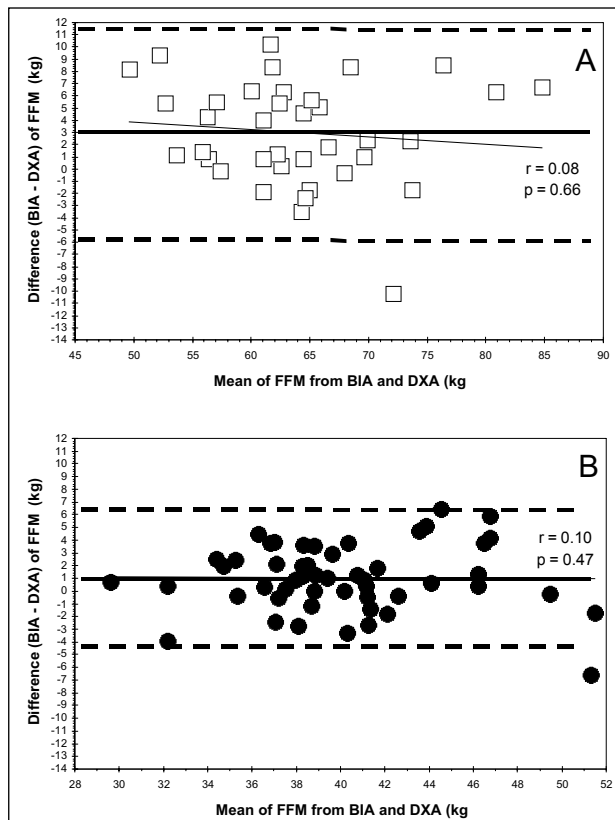


**Figure 2.** Relationship between fat-free mass (FFM) measured by DXA and TANITA in men and women. The line of identity and the lines of best fit along with the correlation coefficients are presented for men and women. The predictive equations are 0.908FFMBIA + 3.068, R<sup>2</sup>=0.74 and SEE=4.28 for men and 0.859FFMBIA + 4.731, R<sup>2</sup>=0.73 and SEE=2.53).



**Figure 3.** Bland & Altman plots of difference in percent body fat (%BF) assessed by the BIA and DXA systems against the mean values by the two techniques in men (A) and women (B). The horizontal lines are mean bias (solid) and the limits of agreement (Bias ± 2 SD-dashed).

estimation of FFM. The best model also included impedance (Table 3; R<sup>2</sup>=0.90 and SEE=2.9 kg for men and R<sup>2</sup>=0.85 and SEE=2.0 kg for women). The



**Figure 4.** Bland & Altman plots of difference in fat-free mass (FFM) assessed by the BIA and DXA systems against the mean values by the two techniques in men (A) and women (B). The horizontal lines are mean bias (solid) and the limits of agreement (Bias  $\pm$  2 SD – dashed).

standardized regression coefficients indicated that the resistive index contributed significantly to the multiple regression equation along with body mass and hip circumference for both males and females. Age and

impedance were smaller contributors based on the standardized coefficients (Table 3). Waist circumference and waist/hip ratio were not significant predictors of both  $\%BF_{DXA}$  and  $FFM_{DXA}$ .

## Discussion

In epidemiological studies involving the assessment of obesity it is important to have a simple and accurate technique to assess body composition. BIA has advantages over more traditional techniques like skinfolds and anthropometry because of its simplicity and good precision [4,11]. The development of BIA systems incorporated in weighing scales has further simplified measurements in the field. The major criticism of these units has been that they do not measure whole body impedance since the electrodes are on the feet, giving a leg-to-leg reading. Consequently, differences in fat distribution may influence the accuracy of the estimates in comparison to standard reference BIA methods [9]. The present study compared estimates of  $\%BF$  and FFM obtained by a leg-to-leg BIA system (Tanita) with the estimates from DXA and found that the addition of anthropometric variables that reflect body fat distribution would improve the BIA estimates of  $\%BF$  and FFM.

When the BIA-estimated  $\%BF$  was compared with  $\%BF_{DXA}$ , there was a bias ( $\%BF_{BIA} - \%BF_{DXA}$ ) of  $-2.4\%$  for the entire sample which corresponds to an underestimation of FM of 1.8 kg and consequently an overestimation of FFM of the same magnitude. Women showed a better agreement ( $-1.7\%$ ) than men who had larger underestimation ( $-3.6\%$ ). Jebb et al. [3] also found a better agreement in women than in men between  $\%BF_{BIA}$  and  $\%BF$  determined by a four-component model. Underestimation of  $\%BF$  by Tanita model TBF-305 has also been reported in adolescent males in comparison with body composition measured by isotope dilution [12]. Using the same model

**Table 2.** Multiple regression\* analysis for  $\%BF$  with leg-to-leg BIA system as independent variable ( $\%BF_{BIA}$ ) and  $\%BF$  from DXA as dependent variable in women and men.

Regression coefficients $\pm$ SE						
Men (n = 37)						
$\%BF_{BIA}$	Age	Squared $\%BF_{BIA}$	Hip circumference	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE
$0.821 \pm 0.124$				$7.8 \pm 3.1$	0.56	4.9
$0.833 \pm 0.110$	$0.150 \pm 0.046$			$0.5 \pm 3.5$	0.66	4.3
$3.033 \pm 0.665$	$0.166 \pm 0.040$	$-0.047 \pm 0.014$		$-24.0 \pm 7.9$	0.75	3.8
$3.176 \pm 0.569$	$0.147 \pm 0.035$	$-0.058 \pm 0.012$	$0.416 \pm 0.114$	$-63.4 \pm 12.7$	0.82	3.2
$(2.881)^{**}$	$(0.321)^{**}$	$(-2.482)^{**}$	$(0.436)^{**}$			
Women (n = 52)						
$\%BF_{BIA}$	Age	Squared $\%BF_{BIA}$	Hip circumference	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE
$0.798 \pm 0.060$				$8.7 \pm 2.1$	0.78	3.5
$0.751 \pm 0.059$	$0.080 \pm 0.029$			$6.7 \pm 2.1$	0.81	3.3
$1.596 \pm 0.430$	$0.080 \pm 0.028$	$-0.012 \pm 0.006$		$-7.7 \pm 7.5$	0.82	3.2
$1.416 \pm 0.394$	$0.082 \pm 0.025$	$-0.012 \pm 0.005$	$0.236 \pm 0.070$	$-24.6 \pm 8.5$	0.86	2.9
$(1.560)^{**}$	$(0.187)^{**}$	$(-1.000)^{**}$	$(0.316)^{**}$			

\*All regression coefficients significant ( $P < 0.05$ ).

\*\*Standardized regression coefficients



**Table 3.** Multiple regression analysis for Stature<sup>2</sup>/Z with leg-to-leg BIA system as independent variable and fat free mass from DXA (FFM<sub>DXA</sub>) as dependent variable in women and men.

Regression coefficients ± SE							
Men (n = 37)							
Stature <sup>2</sup> /Z	Body mass	Hip circumference	Age	Z	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE
0.501 ± 0.077					27.1 ± 5.5	0.55	5.6
0.158 ± 0.093*	0.346 ± 0.072				21.3 ± 4.5	0.73	4.4
0.112 ± 0.082*	0.784 ± 0.138	-0.904 ± 0.255			80.8 ± 17.2	0.80	3.8
0.200 ± 0.073	0.747 ± 0.118	-0.905 ± 0.216	-0.135 ± 0.036		84.3 ± 14.6	0.86	3.2
0.406 ± 0.096	0.730 ± 0.106	-0.902 ± 0.193	-0.120 ± 0.033	0.045 ± 0.015	49.8 ± 17.5	0.90	2.9
(0.600)**	(1.399)**	(-0.834)**	(-0.231)**	(0.339)**			
Women (n = 52)							
Stature <sup>2</sup> /Z	Body mass	Hip circumference	Age	Z	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE
0.528 ± 0.052					14.5 ± 2.5	0.67	2.8
0.354 ± 0.067	0.156 ± 0.043				12.9 ± 2.3	0.74	2.5
0.296 ± 0.063	0.461 ± 0.098	-0.342 ± 0.100			31.2 ± 5.8	0.79	2.3
0.292 ± 0.058	0.396 ± 0.091	-0.247 ± 0.096	-0.060 ± 0.018		28.5 ± 5.3	0.83	2.1
0.436 ± 0.083	0.367 ± 0.088	-0.220 ± 0.092	-0.049 ± 0.018	0.020 ± 0.009	9.0 ± 9.9	0.85	2.0
(0.676)**	(0.886)**	(-0.456)**	(-0.172)**	(0.252)**			

\* $P > 0.05$ , otherwise all regression coefficients are significant ( $p < 0.05$ ).

\*\*Standardized regression coefficients Z=Impedance

of Tanita, Swartz et al. [13] found higher values of %BF (but not significant) in comparison with underwater weighing used as the criterion method in a group of young men (mean age of 23y) who were engaged in less than 2.5 hours/week in aerobic activity.

Other models of leg-to-leg BIA Tanita systems showed either overestimation or underestimation of %BF in men and women. Xie et al. [11], using a model TBF-105, observed an overestimation of 4.2 %BF in post-menopausal women (mean age of  $56.4 \pm 2.9$ ; BMI  $24.5 \pm 4.1 \text{ kg.m}^{-2}$ ) compared to DXA measurements (34.6% vs 30.4%). Lukaski and Siders [9], using a model TBF-604 system, also observed an overestimation of 1.7 of %BF in a group of men with similar BMI and age of the present study. However, the same study showed an underestimation of 2.6 %BF in women with similar physical characteristics to the present study. Dittmar [8] showed that leg-to-leg BIA (Tanita TBF-538) compared to a hand to foot tetrapolar BIA tended to give higher %BF estimates in females and lower estimates in males and suggested that there is an interaction between the BIA technique and sex.

Regression analysis of the present set of data showed that when %BF<sub>BIA</sub> was used as an independent variable it explained 77% of the variation of %BF for the entire sample, with a SEE of 4.1%. Comparing the simple regression equations derived for men and women separately a higher R<sup>2</sup> (0.78) and lower SEE (3.5%) was obtained for women. The addition of hip circumference significantly improved the estimations in both men and women which may indicate that body fat distribution or body geometry [4] are important factors in BIA estimation of body composition [14] and requires further investigation. The best pre-

dictive equations also included age, and the squared %BF<sub>BIA</sub>. In comparison to the simple regression, this model increased the R<sup>2</sup> to 0.86 and reduced the SEE to 2.9% for women whereas a more substantial improvement was observed for men: the multiple regression model with the same variables improved the R<sup>2</sup> from 0.56 to 0.84 and the SEE from 4.9 to 3.2%. These values are within the range reported in studies in which %BF was predicted by tetrapolar BIA – between 0.60 to 0.96 for R<sup>2</sup> and 3.3 to 5.0% for SEEs [4] and can be considered as very good agreement according to Lohman's [15] subjective ratings of accuracy.

Impedance is used to estimate total body water [16], and therefore, it should preferably be used to estimate FFM values even though its use has been validated against gold standard techniques which traditionally have been used to measure body fatness, such as underwater weighing [17] or more sophisticated multi-component analysis [3]. In the present study, FFM<sub>BIA</sub> was highly correlated with FFM<sub>DXA</sub> ( $r=0.85$  for females and  $r=0.86$  for males). Similar results were found by Utter et al. [17] for a sample of 125 obese and nonobese women (SEE=3.7 kg). A somewhat higher SEE (3.5 kg) was observed by Xie et al. [11] in a sample of 124 postmenopausal women. In a sample of 231 subjects (men and women), Nuñez et al. [7] found a higher SEE (6.1 kg) for the simple regression of resistive index on FFM which is similar to our results using the pooled analysis (SEE=5.5 kg).

Multiple regression models improved the estimation of FFM<sub>DXA</sub> using either FFM<sub>BIA</sub> or the resistive index as the independent variable in both men and women with the addition of body mass, age and hip circumference in the model. Impedance was also a significant variable in the best regression model to predict FFM. Nuñez et al. [7] found that, in addition to

age, waist to hip ratio was a significant variable to predict  $FFM_{DXA}$  although its contribution was very small. In the present analysis, hip circumference was a significant variable in the estimation of both %BF and FFM that suggests that estimates of body geometry or fat distribution may be important to consider when using a leg-to-leg BIA. Indeed, BIA is based on the assumption that the body is a single geometric conductor with a uniform cross-sectional area which is indirectly related to BIA. It is possible that the circumference measures could account for differences in cross-sectional areas and thereby have at least a small effect on impedance.

In summary, the Tanita TBF-305 BIA system showed significant bias in the estimation of %BF and FFM when compared to DXA measurements. These mean biases might be acceptable in population studies but at the individual level BIA estimates could induce large errors as the limits of agreement were too broad. Furthermore, fat distribution seems to be an important factor when using a leg-to-leg BIA system once in all multiple regression equations hip circumference improved the estimation of %BF and FFM.

*Acknowledgments*—VW and LAA received fellowships from the Brazilian National Research Council (CNPq, Proc. 200837/03-6 and 200309/04-8).

## References

- 1 Popkin BM. The nutrition transition and obesity in the developing world. *J Nutr* 2001; 131: 871S–873S.
- 2 World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization; 2000. (WHO Technical Report Series, 894).
- 3 Jebb AS, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr* 2000; 83: 115–22.
- 4 Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996; 64: 436S–448S.
- 5 Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60: 1327–32.
- 6 Brodie D, Moscrip V, Hutcheon R. Body composition measurement: A review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods. *Nutrition* 1998; 14: 296–305.
- 7 Nuñez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang Z, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 524–31.
- 8 Dittmar M. Comparison of bipolar and tetrapolar impedance techniques for assessing fat mass. *Am J Hum Biol* 2004; 16: 593–7.
- 9 Lukaski HC, Siders WA. Validity and accuracy of regional bioelectrical impedance devices to determine whole-body fatness. *Nutrition* 2003; 19: 851–7.
- 10 Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; I: 307–12.
- 11 Xie X, Kolthoff N, Barenholt O, Nielsen SP. Validation of a leg-to-leg bioimpedance analysis system in assessing body composition in postmenopausal women. *Int J Obes* 1999; 23: 1079–84.
- 12 Wells JCK, Gigante D, Wright A, Hallal PC, Victora CG. Validation of leg-to-leg impedance for body composition assessment in male Brazilians aged 16–19 years. *Int J Body Comp Res* 2004; 1: 1–6.
- 13 Swartz AM, Evans MJ, King GA, Thompson DL. Evaluation of a foot-to-foot bioelectrical impedance analyzer in highly active, moderately active and less active young men. *Br J Nutr* 2002; 88: 205–10.
- 14 Foster KR, Lukaski HC. Whole-body impedance—what does it measure? *Am J Clin Nutr* 1996; 64(suppl): 388S–396S.
- 15 Lohman TG. Advances in body composition assessment. Current issues in exercise science series. Monograph No. 3. Champaign, IL: Human Kinetics, 1992.
- 16 Bell NA, McClure PD, Hill RJ, Davies PSW. Assessment of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water. *Eur J Clin Nutr* 1998; 52: 856–9.
- 17 Utter AC, Nieman DC, Ward AN, Butterworth DE. Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 603–7.

## **Artigo 2**

**Aprovado para publicação na Clinical Nutrition**

**(Carta de aprovação no Anexo 3)**

## Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate

Vivian Wahrlich<sup>a</sup>

Luiz A. Anjos<sup>a,b</sup>

Scott B. Going<sup>c,d</sup>

Timothy G. Lohman<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Escola Nacional de Saúde Pública  
Fundação Oswaldo Cruz  
Rua Leopoldo Bulhões 1480  
21041-210 - Manguinhos  
Rio de Janeiro, Brazil

<sup>b</sup>Laboratório de Avaliação Nutricional e Funcional  
Departamento de Nutrição Social  
Universidade Federal Fluminense  
Rua São Paulo 30, 415  
24001-970 - Niterói, Rio de Janeiro  
Brazil

<sup>c</sup>Department of Nutritional Sciences  
University of Arizona  
238 Shantz Building  
Tucson, AZ 85721-0093  
USA

<sup>d</sup>Department of Physiology  
University of Arizona  
101 Ina Gittings Building  
Tucson, AZ 85721-0093  
USA

Address for correspondence:  
Luiz Antonio dos Anjos  
Caixa Postal 100231  
Niterói, Rio de Janeiro, Brazil  
Email: [anjos@ensp.fiocruz.br](mailto:anjos@ensp.fiocruz.br)  
Tel. + 55 21 26299856  
Fax. + 55 21 26299847

Short Title: Validation of VO2000 for RMR measurement

This paper was presented at the 52<sup>nd</sup> Annual meeting of the American College of Sports Medicine, Nashville, TN, USA, June 1-4, 2005.

## Summary

**Background & Aims:** Metabolic carts used in laboratory settings for the measurement of resting metabolism are cumbersome limiting their use in the field. The validity of a newly developed portable calorimeter (Medical Graphics VO2000) under resting conditions was assessed in comparison to a well-established reference system, the DELTATRAC™.

**Methods:** Gas exchange and energy expenditure were measured for 25 minutes consecutively using the two devices. Values of the last 20 minutes were averaged and used in the analysis. The order of device for the first subject was randomly chosen and the calorimeters were alternated thereafter.

**Results:** Among 33 subjects, acceptable measures of resting metabolism were obtained in 25 (11 men) aged 20-78 years because 8 subjects (3 men) either hyperventilated or did not adapt well enough to the facemask.  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , and RQ were not significantly different between devices. Small (2.8%) non-clinically relevant mean differences ( $-0.145 \pm 0.341 \text{ MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ ) were found. Results of the two devices were highly correlated ( $r=0.95$ ) yielding a more accurate estimate than predictive equations.

**Conclusions:** The VO2000 calorimeter is a valid system to measure resting metabolism but the facemask may not be suitable for some people.

**Keywords:** Deltatrac, resting metabolic rate, calorimeter, indirect calorimetry, oxygen uptake

## **Introduction**

There has been a renewed interest in the measurement and prediction of resting metabolic rate (RMR) after the World Health Organization recommended its use in the estimation of human energy requirements (1) based on the physical activity level of the populations (2). RMR data have also been used to validate energy intake in epidemiological studies by identifying over and under-reporters (3). For these applications, the RMR information must be as accurate as possible to avoid misleading nutritional recommendations and conclusions.

RMR is measured by indirect calorimetry under standard conditions in a controlled environment, in the post absorptive and resting state. In contrast, in most clinical and epidemiological settings, RMR is estimated using equations such as those recently proposed by the Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Human Energy Requirements (4) for international use. This set of equations was derived from compiled data from studies mainly conducted in the first half of the 20<sup>th</sup> century in small samples or specific groups of subjects that were not necessarily representative of the populations. Many studies have shown that these equations are not accurate to estimate RMR in different populations (3). Therefore it is necessary to measure RMR at the population level to derive more accurate equations.

In the past few decades, simple, portable, inexpensive automated gas analysis systems have been developed which have allowed the collection of metabolic information, primarily during exercise (5) in clinical and research settings throughout the world. One of these systems, the VO2000, or its predecessor - the TEEM 100, has been validated during light, incremental, constant and maximal activities (6,7,8) but no

study has validated the system under resting conditions, that is, controlling the environment, the time of measurement and the nutritional state of the subjects. Therefore, the purpose of the present study was to assess the validity of the VO2000 system to measure the energy expenditure in resting conditions against a well-established reference system used to measure RMR, the DELTATRAC™.

### **Materials and Methods**

Thirty-three native Brazilians, 20 years of age or older, were recruited via an oral presentation of the project to members of an informal Brazilian social club in Tucson, Arizona composed of students of the University of Arizona, their relatives and friends. Exclusion criteria included pregnancy, lactation, cardio-respiratory and renal diseases, diabetes and people taking medication that could affect RMR. The potential subjects were invited to visit the laboratory where all procedures were explained before the RMR measurements were scheduled. The project was approved by the Institutional Review Board of the University of Arizona and all participants gave written informed consent prior to participation.

The MedGraphics VO2000 Portable Metabolic Testing System (St. Paul, MN) is a small, portable (740g) device that uses a galvanic fuel cell O<sub>2</sub> analyzer and a non-dispersive infrared CO<sub>2</sub> analyzer. The gold standard RMR value was obtained by the DELTATRAC™ MBM-100 (Sensormedics, Yorba Linda, CA), which uses a differential paramagnetic analyzer for oxygen detection and the carbon dioxide fraction is detected by infrared absorption. This calorimeter was specifically designed and has been validated to measure RMR (9,10,11).

Calibration of the calorimeters was performed according to the manufacturer instructions. The auto-calibration procedure of the VO2000 system was performed daily before data collection. Once a week a known gas mixture (5.01 CO<sub>2</sub>, 16.02 O<sub>2</sub>, balance N<sub>2</sub>) was introduced into the system to simulate a test. Every time the  $\dot{V}O_2$  or  $\dot{V}CO_2$  readouts were within 5% of the gas mixture concentration and thus indicating no need for a full gas calibration. The DELTATRAC™ calorimeter was calibrated with a known gas mixture (4% CO<sub>2</sub>, 96% O<sub>2</sub>) every morning before data collection.

The DELTATRAC™ system uses a canopy and the VO2000 calorimeter works either with a facemask or a mouthpiece with the possibility of 3 flow pneumotachs depending on the expected ventilation of the activity. In the present study, the low flow pneumotach (ventilations between 2 to 30 L.min<sup>-1</sup>) was used with a facemask.

The volunteers were scheduled to come to the laboratory soon after awakening in the morning after having fasted for 12 hours and slept for 6 to 8 hours and after avoiding vigorous exercise and alcohol consumption during the preceding 24 hours. Upon arrival at the laboratory the adherence to this protocol was verified and a heart monitor (POLAR S-610 monitor) was placed on the subject's chest. Before starting the RMR measurements the subject rested for 15 minutes in the supine position. After the rest, the canopy (DELTATRAC™) or facemask (VO2000) was adjusted to the subject and the measurement was done for 25 minutes using the two devices consecutively. The order of device for the first subject was randomly chosen and for the following subjects, the calorimeters were alternated. The heart rate monitor was activated at the beginning of each RMR measurement. Gas exchange ( $\dot{V}O_2$  and  $\dot{V}CO_2$ ) minute data were collected and converted to energy expenditure using the Weir (12) equation for each system and



expressed in MJ.day<sup>-1</sup>. RMR was calculated as the average energy expenditure of the last 20 minutes.

A total of 25 subjects (11 males and 14 females) were able to complete the measurements using both devices (13 measurements started with the DELTATRAC™). Data from eight subjects were excluded because of either hyperventilation (2 cases) or non-adaptation to the facemask (3 complained of claustrophobia and 3 reported discomfort during the test). Twelve subjects repeated the RMR measures with the order of device reversed from the first measurement another day. The mean values of each measure for the two devices were not significantly different (mean difference = 0.063 ± 0.301 MJ.day<sup>-1</sup>, p=0.48 for the Deltatrac™ system and 0.159 ± 0.419 MJ.day<sup>-1</sup>, p=0.22 for the VO2000 system). The two measures were highly correlated: r = 0.96 and 0.93 for the Deltatrac™ and VO2000 systems, respectively and ICC = 0.98 and 0.96, respectively.

Anthropometric and body composition measurements were done following the RMR measurements with the subjects wearing light clothes and no shoes. Stature (S) was measured in triplicate to the nearest 0.1 cm using a SHORR stadiometer with the reading made after the maximal inspiration. Body mass (BM) was measured 3 times to the nearest 0.2 kg using an electronic scale (Tanita TBF-305). Body mass index (BMI) was derived from the ratio between BM (kg) and the squared S (m<sup>2</sup>).

Body composition measures included percentage body fat (%BF) and fat free mass (FFM) obtained from dual energy X-ray absorptiometry (DXA) scans which were performed by an experienced technician using a total body fan beam densitometer (GE/Lunar Prodigy, Madison, WI) according to standard subject positioning and data acquisition protocols. The machine was calibrated daily following the manufacturer

instructions for maintenance and use. All female subjects of childbearing age were screened for pregnancy prior to undergoing DXA scanning. Sensitive urine-based pregnancy kits was used to test for presence of even low levels of human chorionic gonadotropin (hCG).

The means of  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , RQ and BMR obtained from both devices were compared using paired t-test analysis. The limits of agreement were determined as the bias (mean difference)  $\pm$  2 SD of the results of the two devices according to Bland and Altman (14). First order correlation coefficients were calculated between RMR results and anthropometric and body composition measures. Regression analysis was performed to assess the relationship between RMR values measured by VO2000 ( $RMR_V$ ) and estimated by two age and gender-specific predictive equations (1,13) against  $RMR_D$ . The first set of equations (1) was used internationally until recently when the Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Human Energy Requirements (4) suggested the use of the latter (13) in the new energy requirement recommendations released by these international organizations. Mean bias was assessed by the difference between RMR values and the percentage of  $RMR_V$  in relation to  $RMR_D$  ( $RMR_V - RMR_D/RMR_D$ ). A value of  $\alpha=0.05$  was used to assess significances. All analyses were performed using SAS (Statistical Analysis Systems) release 8.02.

## **Results**

The mean ( $\pm$  SD) age of the sample was 40.8 years and age ranged from 20.4 to 78.3 years (Table 1). Mean BMI was 25.0 ( $\pm$  4.2)  $kg.m^{-2}$ ; only two women (14.3%)

were obese ( $\text{BMI} \geq 30 \text{ kg.m}^{-2}$ ) whereas most men (64%) were overweight ( $25 \leq \text{BMI} < 30 \text{ kg.m}^{-2}$ ).

There was a strong and significant correlation between  $\dot{V}\text{O}_2$  and  $\dot{V}\text{CO}_2$  obtained with both calorimeters ( $r=0.95$  and  $0.90$ , respectively;  $p < 0.0001$ ). The correlation between  $\text{RMR}_D$  and  $\text{RMR}_V$  was  $0.95$ . There were also strong correlations between RMR obtained by both devices and body mass, stature and fat-free mass but the coefficients tended to be lower with  $\text{RMR}_V$  than with  $\text{RMR}_D$  (Table 2).

Mean  $\dot{V}\text{O}_2$  and  $\dot{V}\text{CO}_2$  values from the two devices were very similar (mean difference =  $-4.44 \pm 12.44 \text{ mL.min}^{-1}$  and  $-5.52 \pm 14.12 \text{ mL.min}^{-1}$ , respectively) and not significantly different (Table 3). RQ was also not significantly different between systems.  $\text{RMR}_D$  was significantly different from  $\text{RMR}_V$  ( $p=0.044$ ) but both the absolute ( $-0.145 \pm 0.341 \text{ MJ.day}^{-1}$ ) and the percentage (2.76%) differences were very small.

Overall, Bland and Altman analyses showed a good agreement between  $\dot{V}\text{O}_2$ ,  $\dot{V}\text{CO}_2$  and between  $\text{RMR}_V$  and  $\text{RMR}_D$ . There was a low positive non-significant correlation ( $r = 0.27$ ,  $p = 0.19$ ) between the difference of values from the two devices and the mean values of  $\dot{V}\text{O}_2$  and RMR (Figure).

## **Discussion**

RMR is the major component of total daily energy expenditure and therefore it serves as the basis in the estimation of energy requirements (4,15). This approach has created a demand for accurate information on RMR across the world in the past two decades. Breakthroughs in technology have allowed the development of simpler inexpensive portable calorimeters which have the advantage over traditional instruments by making them affordable and also enabling the measurement of energy expenditure in

the field (6,9,16,17,18,19). Validation is still a major concern with these systems. The VO2000 system is a new portable calorimeter that uses the same system as its predecessor (TEEM 100) which has been validated during maximal and submaximal exercise (6,7,8). However there is no information on its validity for measuring RMR. The present study compared the RMR,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , and RQ obtained with the VO2000 system in relation to the results of a well-established reference system (DELTATRAC™).

$\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  and RQ values were not significantly different between calorimeters. Novitsky et al. (7) reported almost the same difference (-4.0 mL.min<sup>-1</sup>) between the  $\dot{V}O_2$  values measured with the TEEM 100 system and a well established calorimeter at rest. Notwithstanding RMR<sub>V</sub> being significantly lower than RMR<sub>D</sub> the difference was only 0.145 MJ.day<sup>-1</sup> corresponding to 2.76%, which is smaller than the universally accepted intra-individual variation of 5% (19). This difference is clinically acceptable at the group level but individually the limits of agreement were somewhat high (-0.826 to 0.537 MJ.day<sup>-1</sup>).

The collection of expired air is done differently in the two systems. The VO2000 system uses a facemask whereas the DELATRAC™ system uses a canopy. Although Segal (21) showed no difference between energy expenditure measured either with a canopy or a facemask, some people can feel uncomfortable with the tight fitting facemask. In fact, 8 subjects from our original sample did not complete the measurements due to difficulty in adapting to the facemask or completed but hyperventilated. An experienced researcher was responsible for fitting the facemask and checked for leakage of air, nevertheless, we cannot be completely certain that leaks did not occur, which might explain the lower RMR<sub>V</sub> values.

RMR obtained from the VO2000 device yielded higher coefficient of determination ( $R^2 = 0.90$ ) and lower standard error of estimate ( $SEE = 0.317 \text{ MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ ) than the values reported by Schofield (13) for the predictive equations which served as the basis for the FAO/WHO/UNU (4) recommendation for international use ( $R^2$  between 0.36 and 0.53 with SEE varying between 0.4511 and 0.6997  $\text{MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ ). Indeed, the corresponding values obtained with either the FAO/WHO/UNU (0.87 and 0.373  $\text{MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ , respectively) and the Schofield equations (0.85 and 0.397  $\text{MJ}\cdot\text{day}^{-1}$ ) were poorer than the values from the new device. RMR estimated by both predictive equations was approximately 15% greater than  $\text{RMR}_D$ . The overestimation of these equations in various populations of the world (3) is a phenomenon recognized by the international organizations (FAO/WHO) but this problem will only be solved when reliable worldwide information on RMR becomes available to establish better predictive equations including, preferably, fat-free mass as predictor (22,23). These values demonstrate that it is better to use the new device instead of the predictive equations.

The present study found the VO2000 calorimeter to be a valid system for the measurement of RMR. Although there was a statistically significant difference between the new system and the criterion DELTATRAC<sup>TM</sup>, the difference was very small and well within the accepted range. The facemask did lead to some difficulty, causing discomfort and hyperventilation in some people, a potential drawback of this system.

### **Acknowledgments**

VW and LAA received fellowships from the Brazilian National Research Council (CNPq, Procs. 200837/03-6, 200309/04-8, and 302952/03-9).

## References

1. FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Geneva: World Health Organization. WHO – Technical Report Series, 724, 1985.
2. Vasconcellos MTL, Anjos LA. A simplified method for assessing physical activity level values for a country or study population. *Eur J Clin Nutr* 2003;57:1025-33.
3. Wahrlich V, Anjos LA. Historical and methodological aspects of the measurement and prediction of basal metabolic rate: a review. *Cad Saúde Públ* 2001;17:801-17.
4. FAO. Human Energy Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. FAO Food and Nutrition Technical Report Series 1, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2004.
5. Macfarlane DJ. Automated metabolic gas analysis systems. A review. *Sports Med* 2001;31:841-61.
6. Melanson EL, Freedson PS, Hendelman D, Deboide E. Reliability and validity of a portable metabolic measurement system. *Can J Appl Physiol* 1996;21:109-19.
7. Novitsky S, Segal KR, Chart-Aryamontri B, Guvakov D, Katch VL. Validity of a new portable indirect calorimeter: The AeroSport TEEM 100. *Eur J Appl Physiol* 1995;70:462-7.
8. Wideman L, Stoudemire NM, Pass KA, McGinnes CL, Gaesser GA, Weltman A. Assessment of the Aerosport TEEM 100 portable metabolic measurement system. *Med Sci Sports Exerc* 1996;28:509-15.
9. Littlewood RA, White MS, Bell KL, Davies PSW, Cleghorn GJ, Grote R. Comparison of the Cosmed K4 b<sup>2</sup> and the Deltatrac II<sup>TM</sup> metabolic cart in measuring resting energy expenditure in adults. *Clin Nutr* 2002;21(6):491-7.

10. Tissot S, Delafosse B, Bertrand O, Bouffard Y, Viale JP, Annat G. Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med* 1995;21:149-53.
11. Wells JCK, Fuller NJ. Precision and accuracy in a metabolic monitor for indirect calorimetry. *Eur J Clin Nutr* 1998;52:536-40.
12. Weir J. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949;109:1-9.
13. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* 1985;39C suppl 1:5-41.
14. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; I:307-12.
15. IOM. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids. Institute of Medicine of the National Academies, Washington, D.C., The National Academies Press, 2002.
16. Kato M, Tajika M, Miwa Y, Moriwaki H. Validation of a portable indirect calorimeter (Metavine®) for measuring energy expenditure in an elderly population. *Clin Exper Pharmacol Physiol* 2002;29:S9-S12.
17. King GA, McLaughlin JE, Howley ET, Bassett DR, Ainsworth BE. Validation of Aerosport KB1-C portable metabolic system. *Int J Sports Med* 1999;20:304-8.
18. Melanson EL, Coelho LB, Tran ZV, Haugen HA, Kearney JT, Hill JO. Validation of the BodyGem™ hand-held calorimeter. *Int J Obes* 2004;28:1479-84.
19. St-Onge MP, Rubiano F, Jones A, Heymsfield SB. A new hand-held indirect calorimeter to measure postprandial energy expenditure. *Obes Res* 2004;12:704-9.

20. Reeves MM, Capra S, Bauer J, Davies PSW, Battistutta D. Clinical accuracy of the MedGem<sup>TM</sup> indirect calorimeter for measuring resting energy expenditure in cancer patients. *Eur J Clin Nutr* 2005;59:603-10.
21. Segal KR. Comparison of indirect calorimetric measurements of resting energy expenditure with a ventilated hood, face mask, and mouthpiece. *Am J Clin Nutr* 1987;45:1420-3.
22. Haugen HA, Melanson EL, Tran ZV, Kearney JT, Hill JO. Variability of measured resting metabolic rate. *Am J Clin Nutr* 2003;78:1141-4.
23. LaForgia J, van der Ploeg GE, Withers RT, Gunn SM, Brooks AG, Chatterton BE. Impact of indexing resting metabolic rate against fat-free mass determined by different body composition models. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:1132-41.



Table 1. Physical characteristics of the 25 subjects with complete data on both calorimeters.

Variables	Mean	SD	Min	Max
Age (years)	40.8	14.2	20.4	78.3
Body mass (kg)	70.1	14.8	50.1	97.3
Stature (cm)	167.0	8.3	153.9	186.0
BMI (kg.m <sup>-2</sup> )	25.0	4.2	19.6	35.6
Body Fat (%)	29.1	10.7	5.8	47.5
Body Fat Mass (kg)	20.5	9.8	4.0	45.9
Fat Free Mass (kg)	49.6	12.6	33.8	80.4

BMI: Body mass index

Table 2. First order correlation coefficients between metabolic results on both calorimeters and anthropometric and body composition variables.

Variable	RMR from	
	DELTATRAC <sup>TM</sup>	VO2000
RMR – VO2000	0.95	-----
Body mass	0.88	0.83
Stature	0.86	0.85
Fat free mass	0.93	0.89
Fat mass	0.13*	0.11*

\*(p > 0.05). All others (p < 0.05).

Table 3. Resting values ( $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , RQ, heart rate, and RMR) from both calorimeters.

	Mean	SD	% of DELTATRAC™ *		t**	p**
			Mean	SD		
$\dot{V}O_2$ (mL.min <sup>-1</sup> )						
DELTATRAC™	194.2	35.2				
VO2000	189.8	38.5	-2.47	6.86	-1.78	0.087
$\dot{V}CO_2$ (mL.min <sup>-1</sup> )						
DELTATRAC™	160.3	29.3				
VO2000	154.8	31.8	-3.46	9.31	-1.95	0.062
RQ ( $\dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$ )						
DELTATRAC™	0.827	0.06				
VO2000	0.817	0.07	-0.93	8.43	-0.72	0.477
Heart rate (bpm)						
DELTATRAC™	62.9	8.0				
VO2000	63.1	7.7	0.42	4.16	0.31	0.760
RMR (MJ.day <sup>-1</sup> )						
RMR <sub>D</sub>	5.62	1.01				
RMR <sub>V</sub>	5.48	1.10	-2.76	6.64	-2.12	0.044
FAO/WHO/UNU Equation	6.49	1.12	15.71	7.38	10.56	<0.0001
Schofield Equation	6.42	1.12	14.47	7.71	9.16	<0.0001

\*(RMR<sub>V</sub> - RMR<sub>D</sub> / RMR<sub>D</sub>) x 100

\*\*t and p values for the paired t-test between means of DELTATRAC™ and VO2000 or unpaired t-test between means of RMR from DELTATRAC™ and estimated by predictive equations

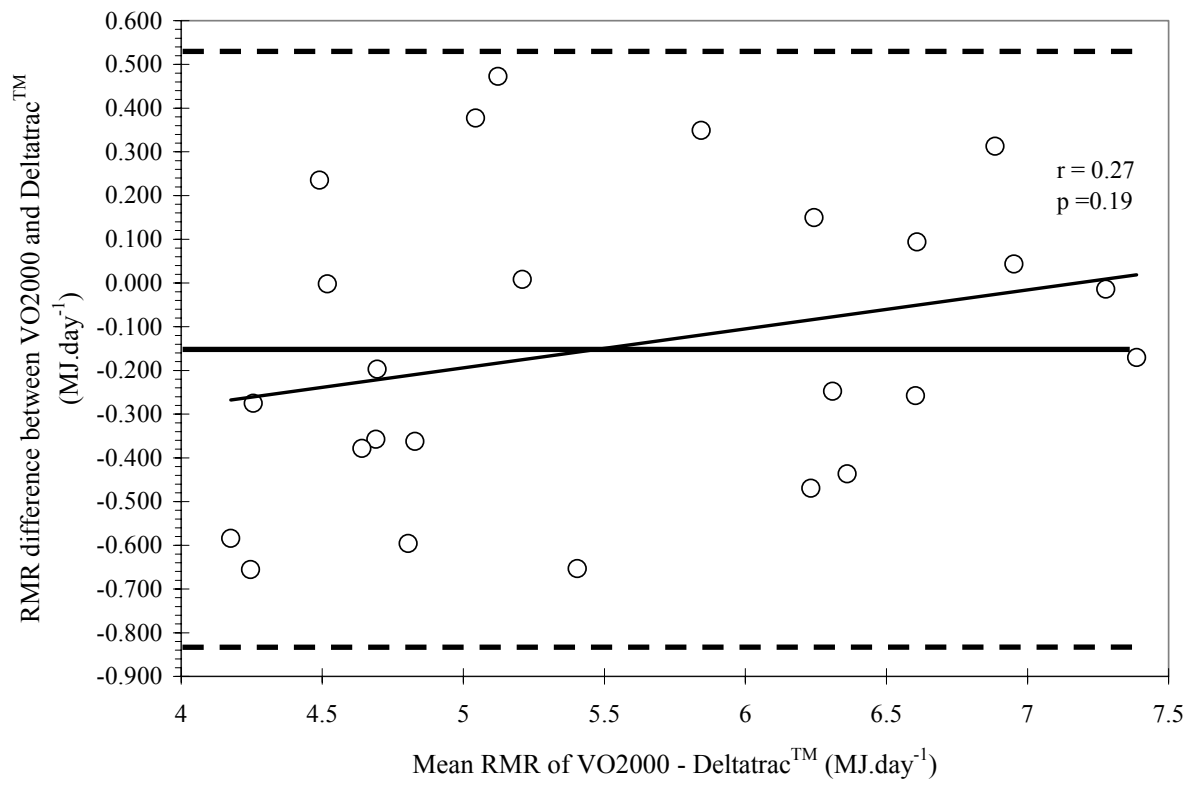


Figure. Bland & Altman (14) graph of resting metabolic rate (RMR) measures from VO2000 and Deltatrac™.

### **Artigo 3**

**Ainda não submetido para publicação**

## **Basal metabolic rate of Brazilians from Niterói, Rio de Janeiro**

Vivian Wahrlich<sup>1</sup>

Luiz A. Anjos<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Escola Nacional de Saúde Pública  
Fundação Oswaldo Cruz  
Rio de Janeiro, Brazil

<sup>2</sup>Laboratório de Avaliação Nutricional e Funcional  
Departamento de Nutrição Social  
Universidade Federal Fluminense  
Niterói, Rio de Janeiro, Brazil

Address for correspondence:  
Luiz Antonio dos Anjos  
Caixa Postal 100231  
21041-970 – Niterói  
Rio de Janeiro - Brasil  
Email: [anjos@ensp.fiocruz.br](mailto:anjos@ensp.fiocruz.br)

Tel. 55 21 26299856  
Fax. 55 21 26299847

## Abstract

Estimation of energy requirements depends on reliable values of basal metabolic rate (BMR). Internationally recommended prediction equations for BMR have been shown to be inadequate for groups of people worldwide. The present study measured BMR in a representative sample of adults living in Niterói, Rio de Janeiro, Brazil and compared measured BMR with estimated values obtained by the following equations: Schofield (1985), Harris and Benedict (1919) and Henry and Rees (1991). Mean ( $\pm$  SEM) measured BMR values were  $5,839.7 \pm 73.9$  kJ.day<sup>-1</sup> and  $4,758.1 \pm 39.5$  kJ.day<sup>-1</sup> for men and women, respectively. Estimated BMR by all equations was significantly higher than measured BMR in both men and women of all age groups (20-30; 30-60 and  $\geq 60$  years). Simple regression showed that the FFM was the best BMR predictor for the entire population ( $R^2 = 0.76$ ; SEE = 430.0 kJ.day<sup>-1</sup>). For both men and women the best model for predicting BMR included BM, stature and age ( $R^2 = 0.87$ ; SEE = 290.0 kJ.day<sup>-1</sup> for men, and  $R^2 = 0.83$ ; SEE = 254.5 kJ.day<sup>-1</sup> for women). For both genders and all age groups, BM and stature in the predictive model was better than BM alone to estimate BMR. The present study showed that the currently available predictive equations for BMR are not adequate to estimate BMR in this population. Specific predictive equations for gender and age groups for the population of Niterói include body mass and stature.

Keywords: basal metabolic rate, predictive equation, energy requirements

## **Introduction**

Since 1985, basal metabolic rate (BMR) in combination with physical activity level has been used to establish the energy requirements of the population (FAO/WHO/UNU, 1985). Since the FAO/WHO/UNU report (1985) there has been a growing interest in measuring and predicting BMR in different ethnic groups and many studies have shown that the equations from the report do not accurately estimate BMR in different populations in the world (Henry & Rees, 1991; Cruz et al., 1999; Wahrlich & Anjos, 2001a; St-Onge et al., 2004; Alfonso-González et al., 2004). In fact, the dataset used to derive the equations was based on compiled BMR measurements available in the literature mainly in the first part of the last century and included a large number of Europeans and North Americans. Therefore these equations were based on BMR information that was not representative worldwide (Piers et al., 1997) and the predictive equations may not represent BMR in contemporary societies.

Aware of the criticism about the current predictive equations the joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Human Energy Requirements reviewed the available information and endorsed the use of the Schofield equations (Schofield, 1985) for the recent report on Human Energy Requirements (FAO, 2004) but emphasized the need of reevaluating the equations in the next few years while more contemporary data on BMR around the world become available. We have previously reported the inadequacy of the predictive equations in estimating BMR on small groups of Brazilians living in tropical and temperate regions of the country (Cruz et al., 1999; Wahrlich & Anjos, 2001b). The present paper reports BMR data in comparison to predicted BMR by various equations in a representative sample of adults living in Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

## **Methods**

Niterói is located in the southeast region of Brazil at 22°53'60"S; 43°06'13"W. The city has an area of 131 km<sup>2</sup> divided in 705 census sectors of which 696 have exclusively household dwellings with a total of 143,924 households where 459,451 people live (213,983 men and 246,467 women) according to the most recent Population Census (2000). A representative sample from this population was designed in three stages: census sectors, household and an adult subject (age  $\geq$  20 years) within the household. In the first stage, 110 sectors were selected systematically with probability proportional to the sector's size from an ordered list according to the sector's average household income, which allowed an implicit income stratification of the sectors. In the second stage, 16 households were selected with equal probability using inverse sampling (Haldane, 1945). The households were visited following the selection order in a list of 80 households until 16 interviews were conducted. In the third stage, an adult from the interviewed household was selected with equal probability within all adults in the household who were eligible: non-pregnant or nursing; did not have any health condition or were not using any medication that could affect the metabolism. The selected adults were invited to come to the laboratory for basal metabolic rate (BMR) measurements.

During the household interview, all procedures related to the measurement of BMR were explained and subjects were acquainted to the facemask before scheduling the laboratory visit. All subjects were advised to come to the laboratory soon after waking up early in the morning having fasted for 12 hours and slept for 6 to 8 hours and not exercised vigorously or consumed alcohol during the preceding 24 hour.



Upon arrival to the laboratory the subjects read and signed the consent form after which the adherence to the protocol was verified and a heart monitor (POLAR S-610) was placed on the subject's chest. Before starting the measurement the subject rested for 15 minutes in the supine position. After the rest, the facemask was adjusted to the subject and gas exchange was measured for 25 minutes using a portable calorimeter (MedGraphics VO2000 Portable Metabolic Testing System - St. Paul, MN) which was calibrated according to the manufacturer. Minute heart rate data were obtained simultaneously. Minute  $\dot{V}O_2$  and  $\dot{V}CO_2$  data were collected and converted to energy expenditure using the Weir equation (1949) and expressed in  $\text{kJ}\cdot\text{day}^{-1}$ . BMR was calculated as the average of the last 20 minutes.  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , and RQ have been shown not to be significantly different from the DELTATRAC<sup>TM</sup> calorimeter (Wahrlich et al., in press) under resting conditions.

Measured BMR was compared with estimated BMR from various predictive equations: Schofield (1985), Henry & Rees (1991), and Harris & Benedict (1919).

Anthropometric and body composition information were obtained following the BMR measurements with the subjects wearing light clothes and no shoes. Stature (S) was measured twice to the nearest 0.1 cm using a wood stadiometer with the subject looking at a horizontal plane (Frankfort plane) and the reading was made after normal expiration. Body mass (BM) was obtained to the nearest 0.2 kg using an electronic scale (Tanita TBF-305). Body mass index (BMI) was derived from the ratio between BM (kg) and the squared S ( $\text{m}^2$ ). Waist and hip circumferences were obtained in triplicate and measured with an inelastic tape to the nearest 0.1 cm. Hip circumference (HC) was measured at the widest point over the greater trochanters. Impedance (Z) was measured with a leg-to-leg bioimpedance (Tanita TBT-305). Fat free mass (FFM) was obtained

using the equations described by Wahrlich et al. (2006): For women,  $FFM = 9.0 + 0.436(S^2/Z) + 0.367(BM) - 0.220(HC) - 0.049(Age) + 0.020(Z)$ ;  $R^2 = 0.85$   $SEE = 2.0$  kg and for men,  $FFM = 49.8 + 0.406(S^2/Z) + 0.730(BM) - 0.902(HC) - 0.120(Age) + 0.045(Z)$ ;  $R^2 = 0.90$   $SEE = 2.9$  kg. Percent body fat (%BF) was derived as  $((BM - FFM) / BM) \times 100$ .

### Data Analysis

Mean, standard error of the mean (SEM), minimum and maximum values are presented for all continuous variables. Nutritional status was evaluated for each gender and age groups according to BMI cut-offs proposed by WHO (2000). Sample weights were calculated as the inverse of selection probability and calibrated to the age, gender and income distribution of the population. The final sample of 529 subjects (190 men and 339 women) represents a total of 324,671 adults (145,886 men and 178,785 women) living in Niterói. All analyses were performed using SAS (Statistical Analysis Systems) release 8.02. Mean values, SEM, 95% confidence interval were obtained using the PROC SURVEYMEANS. Regression analyses were performed using the PROC SURVEYREG to develop the best predictive equation of BMR using BM, S and FFM as independent variables. The data were divided into age groups (20-30; 30-60;  $\geq 60$  years) merely to compare with the results of the current predictive equations for BMR (FAO, 2004).

### Results

Age ranged from 20.0 to 80.3 years, and mean age ( $\pm$  SEM) was  $42.6 \pm 1.4$  years for men (Table 1) and  $44.9 \pm 1.0$  years for women (Table 2). The sample included a large range of BMI that varied from 15.5 to 45.3  $kg.m^{-2}$ . Based on mean BMI, both

men and women were, on the average, overweight ( $\text{BMI} \geq 25.0 \text{ kg.m}^{-2}$ ) whereas mean % BF was higher in women (39.0%) than in men (22.0%).

When data were presented according to age groups, a higher mean BMI value was observed for men aged 30 to 60 years ( $25.6 \text{ kg.m}^{-2}$ ) compared to younger (20 – 30 years) and older groups ( $\geq 60$  years). Mean BMI values were similar between women aged 30 to 60 years ( $26.0 \text{ kg.m}^{-2}$ ) and older women ( $26.1 \text{ kg.m}^{-2}$ ), whereas younger women (20 – 30 years) had a mean BMI value ( $23.0 \text{ kg.m}^{-2}$ ) within normal range. Percent body fat increased with increasing age for both men and women. Both older men (table 2) and women (table 3) (age  $\geq 60$  years) had on average a lower FFM and higher %BF compared to younger groups.

Average measured BMR values were  $5,839.7 \pm 73.9 \text{ kJ.day}^{-1}$  and  $4,758.1 \pm 39.5 \text{ kJ.day}^{-1}$  for men and women, respectively. Absolute BMR values were higher in both young men and women (20 –30 years) compared to older groups. Estimated BMR by all predictive equations was significantly higher than measured BMR in both men and women from each age group. Larger BMR overestimation occurred for young men when using the Schofield (26.0%), and the Harris and Benedict (24.0%) equations. For older women ( $\geq 60$  years), the Schofield and Harris & Benedict equations yielded lower overestimation compared to both groups of younger women. When using Henry and Rees equation, the lowest overestimation within women was observed in the group aged 20 to 30 years (13.8%), whereas in men the lowest overestimation occurred for the age group of 30-60 years (11.8%).

The best single predictor of BMR for men and women pooled together was fat-free mass (FFM;  $R^2 = 0.76$ ;  $\text{SEE} = 430.0 \text{ kJ.day}^{-1}$ ) followed by body mass (BM;  $R^2 = 0.70$ ) and stature ( $R^2 = 0.58$ ). For men alone, BM was the single best predictor of BMR

( $R^2 = 0.74$ ;  $SEE = 409.4 \text{ kJ.day}^{-1}$ ), whereas for women it was FFM ( $R^2 = 0.77$ ;  $SEE = 292.2 \text{ kJ.day}^{-1}$ ) followed by BM ( $R^2 = 0.66$ ;  $SEE = 357.2 \text{ kJ.day}^{-1}$ ). For both men and women the best model for predicting BMR included BM, stature and age ( $R^2 = 0.87$ ;  $SEE = 290.5 \text{ kJ.day}^{-1}$  for men, and  $R^2 = 0.83$ ;  $SEE = 254.5 \text{ kJ.day}^{-1}$  for women). For both genders and all age groups, BM and stature in the predictive model was better than BM alone to estimate BMR (Tables 5 and 6).

## **Discussion**

The present study measured BMR in subjects from a household survey living in Niterói, Rio de Janeiro and compared the measured BMR values with BMR predicted by different equations. Based on a literature review performed by the authors this is, apparently, the largest dataset of BMR obtained in a developing country and the first attempt to obtain BMR information in a representative sample of a specific population. The majority of the studies with large samples used to generate BMR predictive equations were based mainly in compiled data available in the literature (Schofield, 1985; FAO/WHO/UNU, 1985; Henry & Rees, 1991; Müller et al., 2004).

Absolute BMR values for men and women were similar to the values of 70 male garbage collectors ( $5888.2 \pm 106.2 \text{ kJ.day}^{-1}$ ) and 81 college-aged women ( $4819.1 \pm 74.3 \text{ kJ.day}^{-1}$ ) living in Rio de Janeiro, Brazil (Wahrlich & Anjos, 2001c). Even though the adults from Niterói were older than the subjects of the present study, their FFM was comparable. When comparing the college women with women aged 20 to 30 years both had on average similar FFM (39.7 and 39.6, respectively) and the difference between measured BMR values was just  $26.2 \text{ kJ.day}^{-1}$  indicating agreement between studies.

All predictive equations examined in the present analysis (Harris & Benedict, 1919; Schofield, 1985; Henry & Rees, 1991) overestimated mean BMR in both men and women. The greatest overestimation, in general, was observed with the equations presently recommended for international use (Schofield, 1985) and the lowest with the equations suggested to be used in populations living in the tropics (Henry & Rees, 1991).

The Schofield equations have been reported to be inadequate to predict BMR in many studies, particularly in people living in tropical regions of the world (Henry & Rees, 1991; Piers & Shetty, 1993; Piers et al., 1997). It has been assumed for many years that people in the tropics have lower BMR values comparatively to Europeans and North Americans (Schofield, 1985; Henry & Rees, 1991). In fact, this idea gained strength in the early years of the 20<sup>th</sup> century when Almeida (1919; 1920) found that the BMR values of 20 Brazilian men living in Rio de Janeiro, Brazil (tropics) was 20% lower than the published values for North-American men. Later, Almeida (1924) concluded that BMR was lower in the population living in the tropics based on measured BMR values of 8 individuals in comparison to the values obtained from the equations of Harris & Benedict (1919). During the last century these premises have been weakened by growing evidence that BMR values of people living in the tropics were similar to BMR of people living elsewhere when body composition was considered (Hayter & Henry, 1993; Lawrence et al., 1988; Luke et al., 2000). Recently, a study in young Brazilian women using the same methods and instrumentation showed that BMR was not significantly different between the group which lived in the tropics (Niterói, Rio de Janeiro, at 22°53'60"S; 43°06'13"W; Cruz et al., 1999) and the other

from below the Tropic of Capricorn in the temperate region of the country (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, at 30°01'59"S; 51°13'48"W; Wahrlich & Anjos, 2001b).

There has been some evidence that the Schofield equations are also inadequate to estimate BMR for people living in Europe and North America (de Boer et al., 1988; Clark and Hoffer, 1991; Piers & Shetty, 1993; Butte et al., 2003) which suggests problems inherent to the equations that were derived from a non-representative sample of the population (Hayter & Henry, 1994; Piers et al., 1997) limiting its use for prediction of BMR in different populations. The Schofield (1985) equations were derived from compiled data available in the literature mainly in the first part of the last century. The final dataset for the Schofield (1985) analysis included 7173 subjects (4809 men and 2364 women) who were mainly from Europe and North America (Henry and Rees, 1991). This sample included a disproportionate number of Italians (approximately 50%) who had higher BMR compared with subjects of other nationalities represented in the data set probably introducing bias in the equations (Hayter and Henry, 1993; van der Ploeg et al., 2001). De Lorenzo et al. (2001) have recently shown that the Schofield equations adequately estimates BMR of Italian subjects suggesting that Italians have higher BMR compared to other populations probably because of differences in body composition.

In the present study measured BMR was compared with BMR predicted using equations proposed by Henry and Rees (1991). This set of equations was derived from information on BMR available in the literature exclusively from people living in tropical regions. They gathered BMR information on a total of 2822 men and women from 3 to 60 years of age (n = 1896 for the 18-60 year age group) and derived equations for each gender and for four age groups (3-10; 10-18; 18-30; and 30-60 years). For the

present analysis these equations yielded lower BMR values in the Brazilians compared to the other equations but estimated values were still significantly greater than measured BMR. Other studies have also reported that these equations overestimated BMR in adult women from tropical regions (Piers & Shetty, 1993; Cruz et al., 1999).

The Harris and Benedict equations have been widely used in clinical settings. Although their equations were derived from BMR measurements of 239 American adults (136 men and 103 women) there is some evidence that these equations do not work in the American general population (Daly et al., 1985; Owen, 1986; 1987; Clark & Hoffer, 1991) and other groups (Liu et al., 1995; Cruz et al., 1999; Wahrlich & Anjos, 2001b; van der Ploeg et al., 2001). These equations were developed in 1919 using techniques that could lead to some degree of discomfort possibly yielding higher BMR values (Clark and Hoffer, 1991) which could explain, in part, the difference between measured and predicted BMR.

In the present study, we verified the contribution of different variables in the estimation of BMR. In agreement with the literature (Liu et al., 1995, Luke et al., 2000; Buchholz et al., 2001, Muller et al., 2004) FFM was the best single predictor for the entire sample. In contrast when data were analyzed separately, body mass instead of FFM was the best single predictor in men. For men and women, the inclusion of body mass and stature in the regression models yielded better equations than described by Schofield (1985) for each age band, that is higher  $R^2$  and lower SEE. In the Schofield analysis the inclusion of stature in the equations did not improved BMR estimations for both men ( $R^2$  ranging from 0.60 to 0.74 with SEE varying from 640.8 kJ.day<sup>-1</sup> to 700.2 kJ.day<sup>-1</sup> depending on the age groups) and women from all age groups ( $R^2$  ranging from

0.68 to 0.73 and SEE varying from 428.9 kJ.day<sup>-1</sup> to was 492.5 kJ.day<sup>-1</sup>. All of these SEE values are greater than the observed values for the population of Niterói.

In summary, the present study showed that the currently available predictive equations for BMR (Harris & Benedict, 1919; Schofield, 1985; Henry & Rees, 1991) are not adequate to estimate BMR in adults living in Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

#### Acknowledgments

VW and LAA received fellowships from the Brazilian National Research Council (CNPq, Proc. 200837/03-6 and 200309/04-8).



## References

- Alfonso-González G, Doucet E, Alméras N, Bouchard C, Tremblay A. Estimation of daily energy needs with the FAO/WHO/UNU 1985 procedures in adults: comparison to whole-body indirect calorimetry measurements. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:1125-1131
- Almeida AO. Le métabolisme minimum et le métabolisme basal de l'homme tropical de race blanche. *J Physiol Pathol Gén* 1919;18:713-729.
- Almeida AO. Le métabolisme basal de l'homme tropical. *J Physiol Pathol Gén* 1920;18:958-964.
- Almeida AO. L'émission de chaleur le métabolisme basal et le métabolisme minimum de l'homme noir tropical. *J Physiol Pathol Gén* 1924;22:12-18.
- Buchholz AC, Rafii M, Pencharz PB, Is resting metabolic rate different between men and women? *Br J Nutr* 2001;86:641-646.
- Butte NF, Treuth MS, Mehta NR, Wong WW, Hopkinson JM, Smith EOB. Energy requirements of women of reproductive age. *Am J Clin Nutr* 2003;77:630-638.
- Clark HD, Hoffer LJ. Reappraisal of the resting metabolic rate of normal young men. *Am J Clin Nutr* 1991;53:21-26.
- Cruz CM, Silva AF, Anjos LA. A taxa metabólica basal é superestimada pelas equações preditivas em universitárias do Rio de Janeiro, Brasil. *Arch Latinoamer Nutr* 1999;49:232-237.
- Daly JM, Heymsfield SB, Head CA, Harvey LP, Nixon DW, Katzef H, Grossman GD. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equation. *Am J Clin Nutr* 1985;42:1170-1174.
- de Boer JO, Van Es AJH, Voorrips LE, Blokstra E, Vogt JE. Energy metabolism and requirements in different ethnic groups. *Eur J Clin Nutr* 1988;42:983-997.
- de Lorenzo A, Tagliabue A, Andreoli A, Testolin G, Comelli M, Deurenberg P. Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18-59y. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:208-214.
- FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Geneva: World Health Organization, 1985. WHO – Technical Report Series, 724.
- FAO. Human energy requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Rome: Food and Agriculture Organization, 2004. FAO – Food and Nutrition Technical Report Series, 1.
- Haldane JBS, On a method of estimating frequencies. *Biometrika* 1945;33:222-225.
- Harris JA, Benedict FG. A biometric study of basal metabolism in man. Boston: Carnegie Institution of Washington; 1919.
- Hayter JE, Henry CJK. Basal metabolic rate in human subjects migrating between tropical and temperate regions: a longitudinal study and a review of previous work. *Eur J Clin Nutr* 1993;47:724-734.

- Hayter JE, Henry CJK. A re-examination of basal metabolic rate predictive equations: the importance of geographic origin of subjects in sample selection. *Eur J Clin Nutr* 1994;48:702-707.
- Henry CJK, Röss DG. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples. *Eur J Clin Nutr* 1991;45:177-185.
- Lawrence M, Thongprasert K, Durnin JVGA. Between group differences in basal metabolic rate: an analysis of data collected in Scotland, the Gambia and Thailand. *Eur J Clin Nutr* 1988;42:877-891.
- Liu HY, Lu YF, Chen WJ. Predictive equations for basal metabolic rate in Chinese adults: a cross-validation study. *J Am Diet Assoc* 1995;95:1403-1408.
- Luke A, Rotimi CN, Adeyemo AA, Durazo-Arvizu RA, Prewitt TE, Moragne-Kayser L, Harders R, Cooper RS. Comparability of resting energy expenditure in Nigerians and U.S. Blacks. *Obes Res* 2000;8:351-359.
- Müller MJ, Bosy-Westphal A, Klaus S, Kreymann G, Lührmann PM, Neuhäuser-Berthold M, Noack R, Pirke KM, Platte P, Selberg O, Steiniger J. World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a moder, affluent population,: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 2004;80:1379-1390.
- Owen EO, Kavle E, Owen RS, Polanski M, Caprio S, Mozzoli MA, Kendrick ZV, Bushman MC, Boden G. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *Am J Clin Nutr* 1986;44:1-19.
- Owen EO, Holup JL, D'Alessio DA, Craig ES, Polanski M, Smalley KJ, Kavle EC, Bushman MC, Owen LR, Mozzoli MA, Kendrick ZV, Boden GH. A reappraisal of caloric requirements in healthy men. *Am J Clin Nutr* 1987;46:875-885.
- Piers LS, Shetty PS. Basal metabolic rates of Indian women. *Eur J Clin Nutr* 1993;47:586-591.
- Piers LS, Diffey B, Soares MJ, Frandsen SL, McCormack LM, Lutschini, O'Dea K. The validity of predicting the basal metabolic rate of young Australian men and women. *Eur J Clin Nutr* 1997;51:333-337.
- Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr* 1985;39C suppl 1:5-41.
- St-Onge MP, Rubiano F, Jones A, Heymsfield SB. A new hand-held indirect calorimeter to measure postprandial energy expenditure. *Obes Res* 2004;12:704-709.
- van der Ploeg GE, Gunn SM, Withers RT, Modra AC, Keeves JP, Chatterton BE. Predicting the resting metabolic rate of young Australian males. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:145-152.
- Wahrlich V, Anjos LA. Historical and methodological aspects of the measurement and prediction of basal metabolic rate: a review. *Cad Saúde Públ* 2001a;17:801-817.
- Wahrlich V, Anjos LA. Validation of predictive equations of basal metabolic rate of women living in Southern Brazil. *Rev Saúde Públ* 2001b;35:39-45.

Wahrlich V, Anjos LA. Basal metabolic rate of men and women living in tropical and temperate regions of Brazil. *Ann Nutr Metabol* 2001c;45(suppl 1):169.

Wahrlich V, Anjos LA, Going SB, Lohman TG. Validation of the VO2000 calorimeter for measuring basal metabolic rate. *Clin Nutr* (in press).

Wahrlich V, Anjos LA, Blew RM, Going SB, Lohman TG. Comparison of estimated percentage body fat and fat-free mass in adults by a leg-to-leg bioimpedance and dual-energy X-ray absorptiometry. *Intern J Body Comp Res* 2006 (in press).

WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic, report of a WHO consultation. Geneva: World Health Organization; 2000. WHO – Technical Report Series 894.

Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949;109:1-9.

Table 1. Age, anthropometric and body composition data according to age groups of men from Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

Variable	Age Groups (years)						Pooled	
	20-30		30-60		≥60		Mean	SEM
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
Age (years)	25.3	0.5	43.3	0.9	65.9	1.2	42.6	1.4
Body mass (kg)	74.0	1.5	76.2	1.5	66.4	3.0	74.0	1.1
Stature (cm)	173.3	1.4	172.5	0.8	167.2	1.3	171.8	0.7
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	24.6	0.5	25.6	0.5	23.7	1.0	25.0	0.3
Body Fat (%)	21.0	1.4	22.2	0.8	22.9	2.0	22.0	0.6
Body Fat mass (kg)	16.2	1.3	18.3	1.0	16.0	2.1	17.4	0.7
Fat Free mass (kg)	57.8	1.0	57.9	0.7	50.4	1.3	56.6	0.6
Hip circumference (cm)	99.5	1.2	98.8	0.9	94.7	1.5	98.3	0.6

BMI- Body mass index

SEM – Standard error of the mean

Table 2. Age, anthropometric and body composition data according to age groups of women from Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

Variable	Age Groups (years)						Pooled	
	20-30		30-60		≥60		Mean	SEM
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
Age (years)	24.8	0.3	44.3	0.6	67.0	0.9	44.9	1.0
Body mass (kg)	60.9	1.2	65.8	1.0	62.3	1.7	64.0	0.8
Stature (cm)	162.6	0.7	159.0	0.4	154.7	0.9	158.9	0.4
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.0	0.4	26.0	0.4	26.1	0.8	25.4	0.3
Body Fat (%)	34.0	0.7	38.9	0.5	40.3	1.1	39.0	0.3
Body Fat mass (kg)	21.3	0.9	26.2	0.7	25.6	1.3	25.0	0.5
Fat Free mass (kg)	39.6	0.5	39.6	0.4	36.7	0.6	39.0	0.3
Hip circumference (cm)	99.7	1.0	102.3	0.8	99.9	1.6	101.2	0.6

BMI- Body mass index

SEM – Standard error of the mean

Table 3. Measured and predicted BMR according to age groups of men from Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

Variable	Age Groups (years)						Pooled	
	20-30		30-60		≥60		Mean	SEM
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
Measured BMR (kJ.day <sup>-1</sup> )*	6025.3	116.8	5987.1	79.3	5056.4	191.1	5839.7	73.9
Estimated BMR (kJ.day <sup>-1</sup> )*								
Schofield (1985)	7559.9	96.1	7310.0	71.7	5713.1	147.2	7103.3	81.8
Bias (Estimated-Measured)**	1534.6	58.2	1322.8	41.0	656.8	74.0	1263.6	39.2
% difference	26.0	1.3	22.7	0.9	13.9	1.7	22.0	0.7
Henry & Rees (1991)	6945.7	85.5	6664.6	68.7			6749.4	56.3
Bias (Estimated-Measured)**	920.4	60.1	677.4	40.9			750.8	33.2
% difference	15.8	1.2	11.8	0.8			13.0	0.6
Harris & Benedict (1919)	7449.9	112.3	7049.5	102.7	5735.7	202.1	6928.3	93.3
Bias (Estimated-Measured)**	1424.6	52.9	1062.3	41.9	679.3	60.8	1088.6	35.5
% difference	24.0	1.1	17.7	0.7	13.8	1.2	18.6	0.6

\*Significantly lower than measured BMR

\*\* (Bias/Measured BMR) x 100

SEM – Standard error of the mean

Table 4. Measured and predicted BMR according to age bands of women from Niterói, Rio de Janeiro, Brazil.

Variable	Age Groups (years)						Pooled	
	20-30		30-60		≥60		Mean	SEM
	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM	Mean	SEM
Measured BMR (kJ.day <sup>-1</sup> )	4845.3	71.9	4829.8	45.3	4480.7	93.9	4758.1	39.5
Estimated BMR (kJ.day <sup>-1</sup> )*								
Schofield (1985)	5813.8	77.8	5775.1	34.3	5122.8	65.0	5643.3	36.7
Bias (Estimated-Measured)**	968.6	48.5	945.4	22.7	642.1	64.2	885.2	23.2
% difference	20.4	1.2	20.5	0.6	15.3	1.7	19.4	0.6
Henry & Rees (1991)	5486.8	60.2	5606.3	48.4			5572.5	39.9
Bias (Estimated-Measured)**	641.5	44.0	776.5	23.8			738.5	21.6
% difference	13.8	1.1	16.5	0.5			15.8	0.5
Harris & Benedict (1919)	5952.3	54.1	5737.7	42.2	5119.6	79.0	5652.1	39.2
Bias (Estimated-Measured)**	1107.0	39.6	907.9	21.2	638.9	57.4	894.1	21.1
% difference	23.6	1.2	19.4	0.5	15.0	1.5	19.4	0.5

\*Significantly lower than measured BMR

\*\* (Bias/Measured BMR) x 100

SEM – Standard error of the mean

Table 5. Multiple regression analysis for BMR (kJ.day<sup>-1</sup>) as dependent variable in men from Niterói, Rio de Janeiro, Brazil

Age Groups (years)	Body mass (kg)	Stature (cm)	FFM (kg)	Age (years)	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE (kJ.day <sup>-1</sup> )	
20 - 30	53.1 (39.1 – 67.0)				2095.5 (1112.8 – 3078.2)	0.72	352.5	
			56.9 (44.0 – 69.9)		-3842.1 (-6162.1 – -1522.2)	0.45	494.7	
				86.9 (56.4 – 117.4)	1000.6 (-918.1 – 2919.4)	0.51	470.6	
	42.8 (27.1 – 58.5)	26.9 (11.3 – 42.4)			-1801.0 (-3610.6 – 8.6)	0.80	305.5	
30 - 60	44.1 (37.8 – 50.5)				2623.6 (2148.6 – 3098.5)	0.74	373.3	
			59.6 (40.1 – 79.1)		-4296.9 (-7674.8 – -919.0)	0.33	604.7	
				90.2 (66.1 – 114.2)	-767.2 (-649.8 – 218.4)	0.74	373.3	
	38.6 (34.3 – 43.0)	33.3 (22.8 – 43.7)			-2696.0 (-4458.3 – -933.7)	0.84	300.7	
≥ 60	60.7 (41.3 – 80.0)				1027.8 (-178.3 – 2233.8)	0.87	291.2	
			92.2 (11.8 – 172.6)		-10354.0 (-23495.3 – 2787.4)	0.37	653.0	
				137.5 (99.7 – 175.3)	-1877.2 (-3688.8 – -65.6)	0.74	416.5	
	54.0 (37.2 – 70.9)	33.7 (2.1 – 65.2)			-4161.6 (-9044.1 – 721.0)	0.91	250.0	
All	51.2 (44.9 – 57.4)				2053.9 (1597.3 – 2510.5)	0.74	409.4	
			70.6 (57.4 – 83.8)		-6288.7 (-8574.4 - -4003.0)	0.41	621.6	
				100.2 (83.6 – 116.8)	167.0 (-803.8 – 1137.9)	0.69	447.4	
		42.8 (38.0 – 47.6)	36.6 (28.7 – 44.6)			-3623.0 (-4916.6 - -2329.3)	0.83	331.0
		41.8 (37.5 – 46.0)	29.9 (22.7 – 37.0)		-11.7 (-15.5 - -7.9)	-1884.9 (-3144.9 - -624.9)	0.87	290.0



Table 6. Multiple regression analysis for BMR (kJ.day<sup>-1</sup>) as dependent variable in women Niterói, Rio de Janeiro, Brazil

Age Groups (years)	Body mass (kg)	Stature (cm)	FFM (kg)	Age (years)	Intercept	R <sup>2</sup>	SEE (kJ.day <sup>-1</sup> )
20 - 30	43.8 (36.1 – 51.4)				2178.7 (1682.1 – 2675.3)	0.64	338.7
		55.5 (38.3 – 72.7)			-4184.5 (-6991.7 – -1377.3)	0.31	467.7
			131.0 (105.5 – 156.4)		-344.8 (-1379.6 – 689.9)	0.69	314.1
	38.3 (32.4 – 44.2)	37.0 (24.4 – 49.7)			-3511.2 (-5702.4 – -1320.0)	0.77	272.5
30 - 60	40.8 (37.9 – 43.7)				2145.6 (1948.2 – 2342.9)	0.75	310.1
		56.7 (44.5 – 68.8)			-4182.2 (-6101.6 – -2262.7)	0.27	527.5
			110.9 (101.5 – 120.2)		438.1 (76.5 – 799.7)	0.79	285.6
	37.1 (33.6 – 40.6)	37.0 (30.9 – 43.1)			-3494.3 (-4368.6 – -2619.9)	0.86	233.3
≥ 60	41.5 (28.0 – 55.0)				1892.6 (1074.8 – 2710.5)	0.57	375.3
		51.2 (19.7 – 82.6)			-3434.2 (-8212.8 – -1344.4)	0.24	496.9
			140.5 (113.5 – 167.6)		-675.7 (-1657.2 – 305.7)	0.77	275.6
	38.7 (28.2 – 49.3)	42.0 (25.9 – 58.1)			-4427.0 (-6961.7 – -1892.2)	0.73	301.8
All	40.9 (37.8 – 44.0)				2142.0 (1937.1 – 2346.9)	0.66	357.2
		53.9 (46.1 – 61.6)			-3799.9 (-5024.8 - -2575.0)	0.30	510.6
			118.0 (109.3 – 126.8)		156.0 (-179.6 – 491.7)	0.77	292.2
		37.1 (34.1 – 40.1)	40.7 (36.2 – 45.2)			-4085.1 (-4776.2 - -3394.0)	0.83
	37.5 (34.5 – 40.4)	37.1 (31.5 – 42.7)		-2.9 (-5.5 - -0.29)	-3407.1 (-4343.9 - -2470.3)	0.83	254.5

## **Discussão**

A presente tese teve como enfoque gerar dados de TMB em uma amostra representativa de adultos residentes em Niterói, RJ, a Pesquisa de Nutrição, Atividade Física e Saúde, PNAFS. A originalidade desse trabalho reside no fato de ser a primeira tentativa, que se tem conhecimento, em medir a TMB em uma amostra representativa de uma população específica. Esse trabalho também vem preencher a lacuna, apontada pelo comitê da FAO sobre necessidade energética humana, referente à carência de dados em países em desenvolvimento que, geralmente, foram sub-representados no banco de dado usado na geração das equações de predição de TMB recomendadas para uso internacional (Schofield, 1985).

Na perspectiva de gerar um banco de dados de TMB global, há preocupação de que os mesmos sejam obtidos por técnicas adequadas, seguindo um rigoroso critério para sua mensuração. Por exemplo, Henry (2001), ao avaliar os dados de TMB obtidos até 1950, concluiu que o uso de calorímetros indiretos de sistema fechado induzia a um aumento artificial da TMB. Nesse tipo de sistema fechado, muito utilizado naquela época, o indivíduo respirava oxigênio puro contido em um cilindro. É reconhecido que o oxigênio puro altera o padrão respiratório levando a um aumento dos valores de TMB (Durnin, 1981). Baseado nessa evidência, foi recomendado que qualquer banco de dados que seja utilizado para derivar equações deve incluir apenas medidas de TMB obtidas, preferencialmente, por calorímetros de circuito aberto (Henry, 2001).

Na PNAFS, as medidas de TMB foram feitas por um calorímetro portátil de circuito aberto (VO2000). A fim de avaliar a qualidade dos dados de TMB medidos, foi feita a comparação do VO2000 com o DELTATRAC<sup>TM</sup>, que é um calorímetro indireto de sistema aberto e específico para medir a TMB (Littlewood, 2002). As medidas de

troca gasosa não foram significativamente diferentes entre os aparelhos e a diferença na medida do gasto energético, embora significativa, foi muito pequena entre aparelhos, dando confiança na acurácia das medidas de TMB. Da mesma forma, o DXA foi utilizado para validar o aparelho de bio-impedância (BIA) utilizado na avaliação da composição corporal dos participantes da pesquisa. Apesar de ter-se evidenciado que o sistema de BIA fornecia valores significativamente menores de percentual de gordura corporal em adultos, a estimativa da composição corporal com esse sistema foi considerada satisfatória em nível de grupo.

Outro aspecto averiguado nesse estudo foi a comparação entre as médias de TMB medida e estimada por várias equações da literatura, inclusive a recomendada pela FAO (2004) para uso internacional. Para a população de adultos de Niterói observou-se que todas equações de predição superestimaram a TMB, fato anteriormente evidenciado por outros estudos conduzidos em amostras menores de homens e mulheres brasileiros (Cruz et al., 1999; Wahrlich & Anjos, 2001b; Wahrlich & Anjos, 2001c). Dessa forma, demonstra-se que as equações de predição da TMB são inadequadas para a população adulta em questão.

A partir dos dados gerados na PNAFS foram derivadas, para cada sexo e faixa etária, equações de predição que incluíram a massa corporal e a estatura. Ao se comparar as linhas de regressão, verifica-se que as linhas da PNAFS resultam em estimativas de TMB menores do que as obtidas com as de Schofield (1985) e Harris & Rees (1991) para ambos os sexos de todas as faixas etárias. Nas mulheres jovens (20 a 30 anos) há um aumento da distância entre as linhas de regressão da equação da PNAFS e de Schofield (1985) segundo o aumento da massa corporal (Figura 5), sendo que o oposto foi observado para as mulheres com mais de 60 anos de idade (Figura 7).

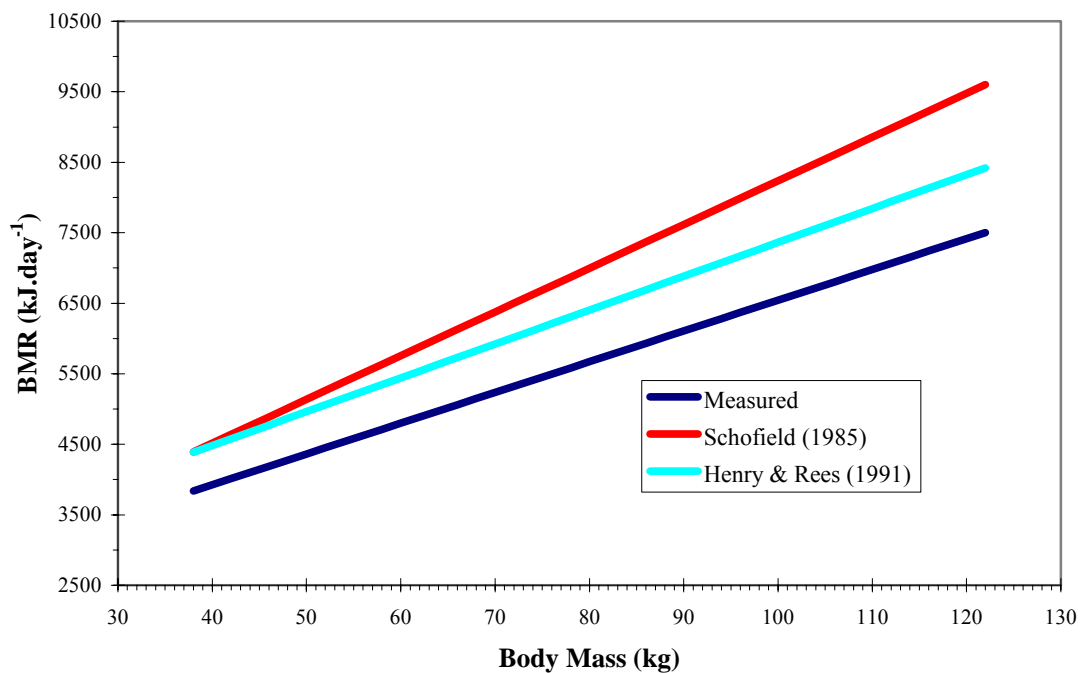


Figura 5. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres entre 20 e 30 anos de idade.

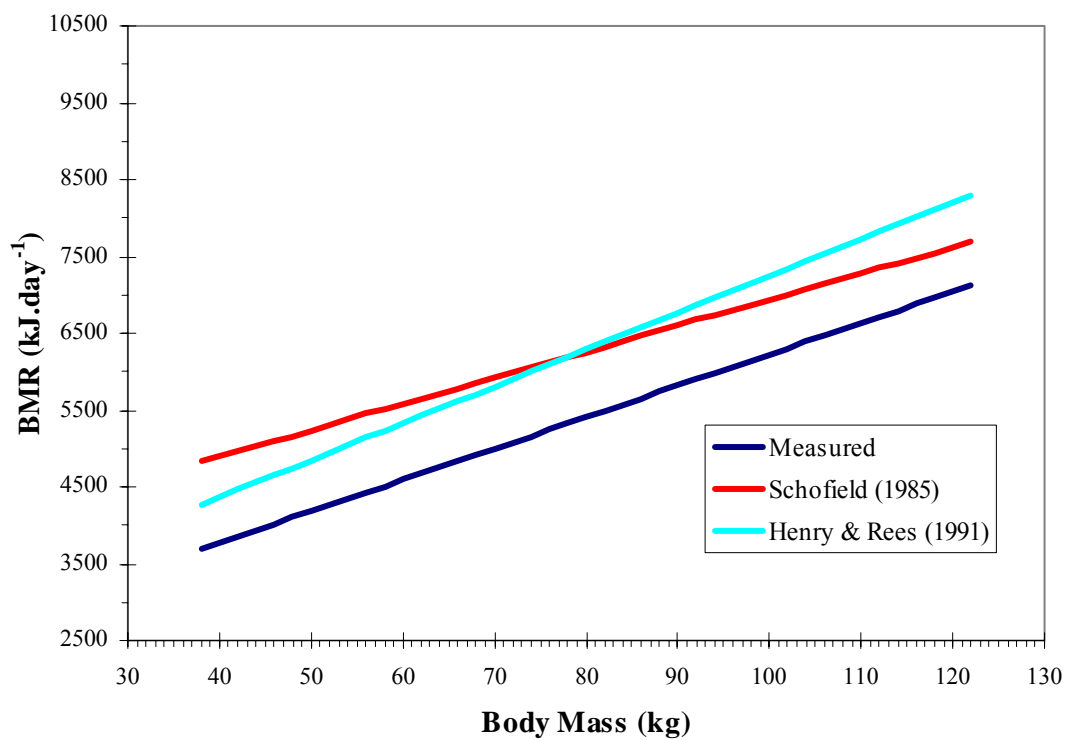


Figura 6. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres entre 30 e 60 anos de idade.

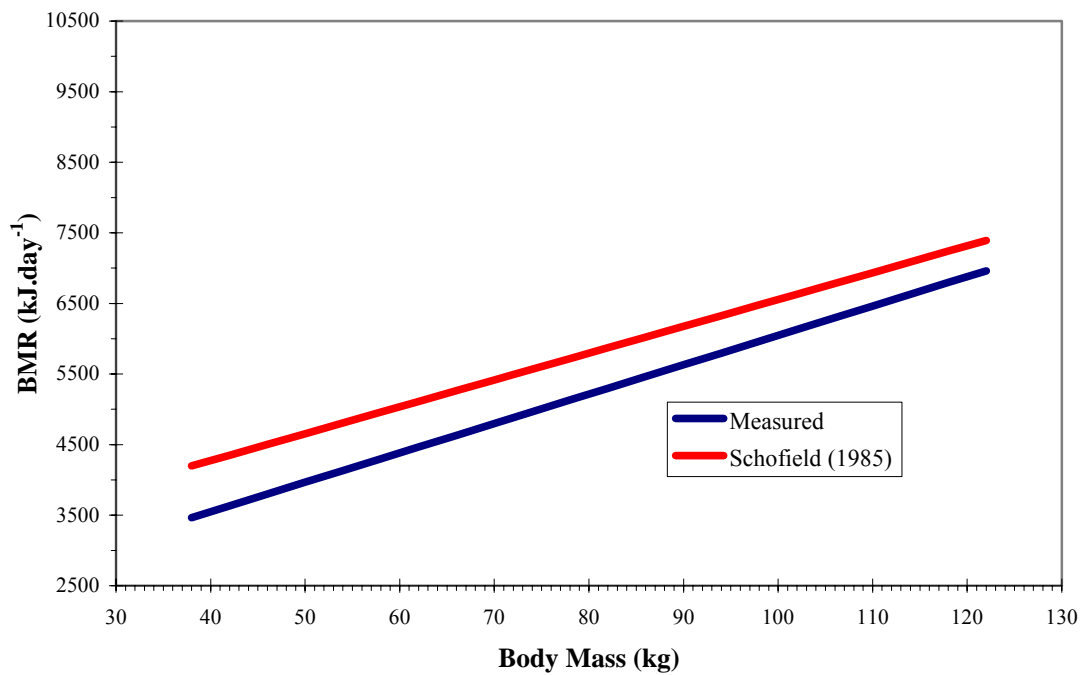


Figura 7. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield e PNAFS em relação à massa corporal em mulheres com mais de 60 anos de idade.

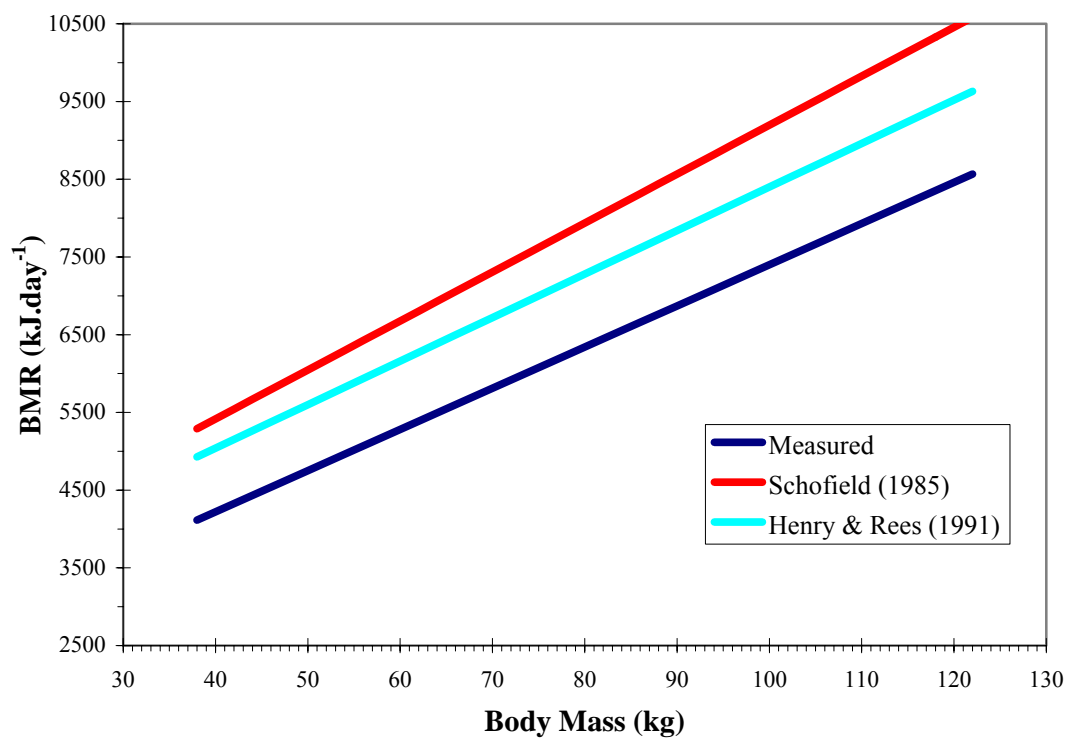


Figura 8. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em homens entre 20 e 30 anos de idade.

Já para as mulheres entre 30 e 60 anos, as linhas de regressão de Schofield (1985) e Henry & Rees (1991) se cruzam (Figura 6), e acima dos 80 kg a equação de Harris & Rees (1991) fornece estimativas de TMB maiores do que a equação de Schofield (1985). Para os homens jovens (Figura 8) e entre 30 e 60 anos (Figura 9) as linhas de regressão são praticamente paralelas significando que a superestimativa não aumenta com o aumento da massa corporal. Entretanto, para os homens com mais de 60 anos (Figura 10) há uma tendência das estimativas obtidas com a equação da PNAFS e de Schofield (1985) se aproximarem naqueles com maior massa corporal.

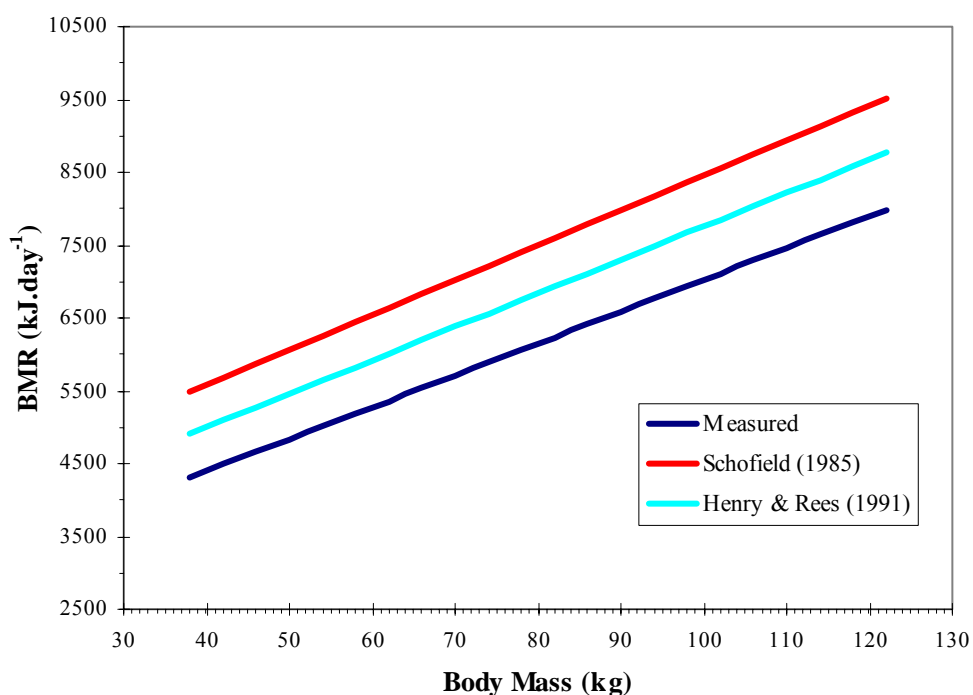


Figura 9. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield, Henry & Rees e PNAFS em relação à massa corporal em homens entre 30 e 60 anos de idade.

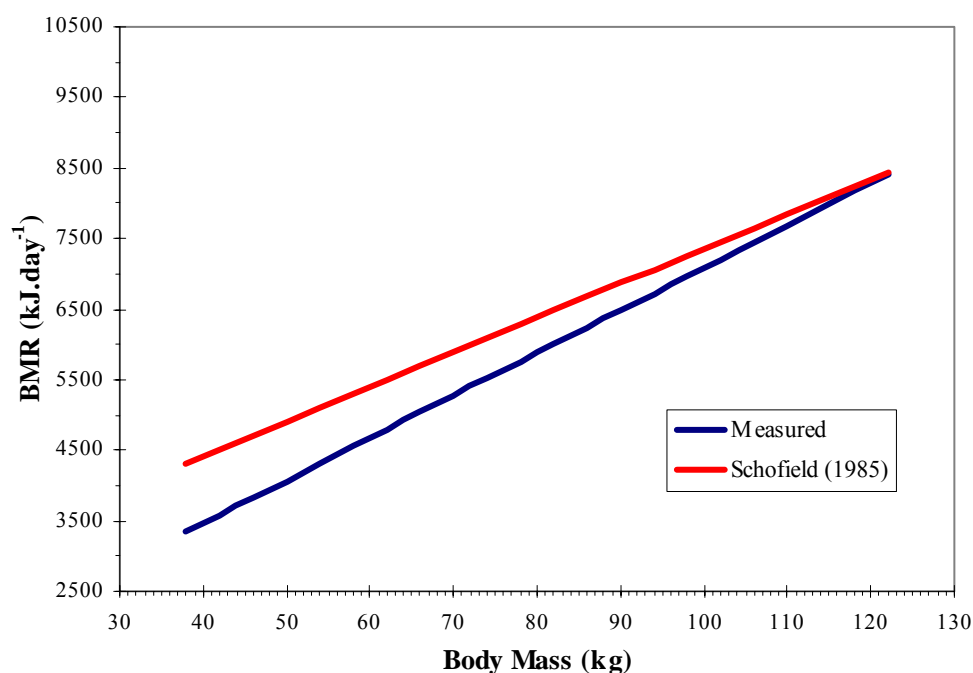


Figura 10. Comparação das linhas de regressão obtidas com as equações de Schofield e PNAFS em relação à massa corporal em homens com mais de 60 anos de idade.

Apesar do fato de as equações de Schofield (1985) estimarem de forma inadequada a TMB em diferentes populações do mundo, a FAO (2004) recomenda que as mesmas ainda sejam utilizadas. Cabe lembrar que a informação da TMB pode ser aplicada a diversos fins, entre eles, o estabelecimento das necessidades energéticas da população, assim como, na interpretação de estudos epidemiológicos que avaliam a ingestão alimentar ou o nível de atividade física da população. Portanto, deve-se ter cautela no uso dessas equações, pois a superestimativa da TMB terá reflexos no estabelecimento das necessidades energéticas da população e nas interpretações sobre a ingestão alimentar, fato já reconhecido em estudos de ponto de corte para se estimar os “underreporters” de ingestão energética (Goldberg et al., 1991; Beaton, 1994; Black, 2000).

A informação da TMB obtida nesse estudo, também, pode ser útil na avaliação da adequação de programas de atenção nutricional. Um exemplo prático poderia ser a avaliação da oferta energética utilizada como base para definir a quantidade de energia a ser oferecida nas refeições dos restaurantes populares que fazem parte do Programa Fome Zero. Foi estabelecido um valor de 4800 kcal diárias das quais 30% deveriam ser oferecidas em cada refeição principal (desjejum, almoço e jantar) que corresponde à aproximadamente 1400 kcal. Se o valor de energia total for dividido pela média da TMB encontrada para a população de Niterói se obterá uma relação ingestão energética/TMB equivalente a 3,67. Esse valor está bem acima dos valores utilizados para caracterizar pessoas com um estilo de vida muito ativo cujo NAF ( $GE_{24h}/TMB_{24h}$ ) varia entre 2,00 e 2,40 (FAO, 2004). Para essa categoria de NAF, estão incluídas as pessoas que trabalham em atividades ou fazem atividade física extenuante por várias horas. Além disso, considera-se que valores de NAF maiores de 2,4 são difíceis de serem mantidos por um longo período de tempo (FAO, 2004). Dessa forma, parece que a oferta energética estabelecida em 4800 kcal está super dimensionada, pois mesmo utilizando a TMB estimada pela equação de Schofield no cálculo do NAF o valor resultante será de 3,05. No entanto, os restaurantes populares geralmente oferecem apenas uma refeição diária resultando numa oferta energética teórica de 1400 kcal o que pode ser o suficiente para muitas pessoas que complementam com refeições feitas em casa. Porém, sabe-se que muitas pessoas dependem dessa refeição pois são moradores de rua ou desempregados. Nesse caso, se o mesmo cálculo for realizado utilizando-se a média da TMB da população de Niterói, o NAF será de apenas 1,12 que está bem abaixo do valor considerado para sobrevivência, estabelecido em 1,2.



## **Conclusão**

O presente estudo demonstrou que as equações de predição da TMB disponíveis na literatura, inclusive as mais recentemente recomendadas pela FAO (2004), superestimam a TMB na população adulta de Niterói, Rio de Janeiro. Dessa forma, deve-se ter cautela no uso dessas equações para a estimativa da TMB até que novas equações sejam derivadas e que demonstrem serem adequadas para essa população. Essa preocupação se deve ao fato da TMB ser essencial para o estabelecimento da necessidade energética baseada no método fatorial, além de poder ser aplicada em estudos epidemiológicos que envolvam a validação de inquéritos de ingestão alimentar, avaliação nutricional e determinação do nível de atividade física da população.

## Referências

- Anjos LA. A taxa metabólica basal é superestimada por equações preditivas em coletores de lixo domiciliar do Rio de Janeiro. Anais do XXI Simpósio Internacional de Ciências do Esporte. SP: Centro de Estudos de Aptidão Física de São Caetano do Sul, 1998;101.
- Anjos LA. Prevalência da Inatividade Física no Brasil. In: Anais do 2º Congresso Brasileiro de Atividade Física e Saúde. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999;58-63.
- Anjos LA, Braun FLC, Damião JJ, Silva AF. Basal metabolic rate cannot be estimated by current predictive equations in Brazilian college female students. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1998;30 Suppl.5:S263.
- Beaton GH. Approaches to analysis of dietary data: relationship between planned analyses and choice of methodology. *American Journal of Clinical Nutrition* 1994;59(Suppl):253S-261S.
- Black AE. Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake:basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. *International Journal of Obesity* 2000;24:1119-1130.
- Cervato AM, Mazzilli RN, Martins IA, Marucci MFN. Dieta habitual e fatores de risco para doenças cardiovasculares. *Revista de Saúde Pública* 1997;31:227-235.
- Cruz CM, Silva AF, Anjos LA. A taxa metabólica basal é superestimada pelas equações preditivas em universitárias do Rio de Janeiro, Brasil. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 1999;49:232-237.
- Durnin JVGA. Basal metabolic rate in man. Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation on Energy and Protein Requirements 1981.  
<http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/M2845E/M2845E00.HTM> (acessado em 22/dez/2004).
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Calorie requirements. Report of the Committee on Calorie Requirements. Washington: FAO. Nutrition Studies 5, 1950.

- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Calorie requirements. Report of the Second Committee on Calorie Requirements. Rome: FAO. Nutrition Studies 15, 1957.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Human energy requirements: Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Rome: FAO. Food and Nutrition Technical Report Series 1, 2004
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization). Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO *Ad Hoc* Expert Committee. Geneva: WHO. Technical Report Series 522, 1973.
- FAO/WHO/UNU (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization/University of the United Nations). Energy and protein requirements: report of a joint FAO/WHO/UNU ad hoc Expert Consultation. Geneva: WHO. Technical Report Series 724, 1985.
- Ferro-Luzzi A. Conceptual framework for estimating food energy requirement. *Public Health Nutrition* 2005;8(7A), 940–952
- Goldberg GR, Black AE, Jebb SA, Cole TJ, Murgatroyd PR, Coward WA, Prentice AM. Critical evaluation of energy intake data using fundamental principles of energy physiology. I. Derivation of cut-off values to identify under-recording. *European Journal of Clinical Nutrition* 1991;45:569-581.
- Haldane JBS. On a method of estimating frequencies. *Biometrika* 1945;33:222-225.
- Hayter JE, Henry CJK. A re-examination of basal metabolic rate predictive equations: the importance of geographic origin of subjects in sample selection. *European Journal of Clinical Nutrition* 1994;48:702-707.
- Henry CJK, Rees DG. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples. *European Journal of Clinical Nutrition* 1991;45:177-185.
- Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations. *Public Health Nutrition* 2005;8(7A), 1133–1152
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo 2000. <http://www.ibge.gov.br> (acessado em 05/jun/2004).

- IOM (Institute of Medicine). Dietary reference intakes for energy, carbohydrates, fiber, fat, protein, and amino acids (Macronutrients). The National Academy of Sciences 2002.
- James WPT, Schofield, E. Human Energy Requirements. A Manual for Planners and Nutritionists. Oxford: Oxford University Press 1990.
- Kalton G, Anderson DW. Sampling rare populations. Journal of the Royal Statistics Society 1986;Series A, 149, part 1:65-82
- Littlewood RA, White MS, Bell KL, Davies PSW, Cleghorn GJ, Grote R. Comparison of the Cosmed K4b<sup>2</sup> and the Deltatrac II<sup>tm</sup> metabolic cart in measuring resting energy expenditure in adults. Clinical Nutrition 2002;21:491-497.
- MacDiarmid JI, Blundell, JE. Dietary under-reporting: what people say about recording their food intake. European Journal of Clinical Nutrition 1997;51:199-200.
- Martins IA, Coelho LT, Mazzilli RN, Singer JM, Souza CU, Antonieto Jr AE, Pasini U, Nieto RA, Álvares, ED, Okani, ET. Doenças cardiovasculares ateroscleróticas, dislipidemias, hipertensão, obesidade e diabetes melito em população da área metropolitana da região sudeste do Brasil. I – Metodologia da pesquisa. Revista de Saúde Pública 1993;27:250-261.
- McNeill G, Rivers JPW, Payne PR, de Britto JJ, Abel R. Basal metabolic rate of Indian men: No evidence of metabolic adaptation to a low plane of nutrition. Human Nutrition: Clinical Nutrition 1987;41C:473-483.
- MDS (Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome). Manual programa restaurante popular. Brasília 2004.
- Melanson EL, Freedson PS, Hendelman D, Debold E. Reliability and validity of a portable metabolic measurement system. Canadian Journal of Applied Physiology 1996;21:109-19.
- Novitsky S, Segal KR, Chatr-Aryamontri B, Guvakov D, Katch VL. Validity of a new portable indirect calorimeter: The AeroSport TEEM 100. European Journal of Applied Physiology 1995;70:462-7.

- Piers LS, Diffey B, Soares MJ, Frandsen SL, McCormack LM, Lutschini MJ, O'Dea K. The validity of predicting the basal metabolic rate of young Australian men and women. *European Journal of Clinical Nutrition* 1997;51:333-337.
- Piers LS, Shetty PS. Basal metabolic rates of Indian women. *European Journal of Clinical Nutrition* 1993;47:586-591.
- Rego RA, Berardo FAN, Rodrigues SSR, Oliveira ZMA, Oliveira MB, Vasconcellos C, Aventurato LVO, Moncau JEC, Ramos LR. Fatores de risco para doenças crônicas não-transmissíveis: Inquérito domiciliar no município de São Paulo, SP (Brasil). Metodologia e resultados preliminares. *Revista de Saúde Pública* 1990;24:277-285.
- Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition: Clinical Nutrition* 1985;39C suppl 1:5-41.
- Tissot S, Delafosse B, Bertrand O, Bouffard Y, Viale JP, Annat G. Clinical validation of the Deltatrac monitoring system in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Medicine* 1995;21:149-153.
- Valencia ME, Moya SY, McNeill G, Haggarty P. Basal metabolic rate and body fatness of adult men in northern Mexico. *European Journal of Clinical Nutrition* 1994;48:205-211.
- Vasconcellos MTL, Anjos LA. Taxa de adequação (ingestão/requerimento) de energia como indicador do estado nutricional das famílias: uma análise crítica dos métodos aplicados em pesquisas de consumo alimentar. *Cadernos de Saúde Pública* 2001;17:581-593.
- Wahrlich V, Anjos LA. Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura. *Cadernos de Saúde Pública* 2001a;17:801-817.
- Wahrlich V, Anjos LA. Validação de equações de predição da taxa metabólica basal em mulheres residentes em Porto Alegre, RS, Brasil. *Revista de saúde Pública* 2001b;35:39-45.
- Wahrlich V, Anjos LA. Basal metabolic rate of men and women living in tropical and temperate regions of Brazil. *Annals of Nutrition and Metabolism* 2001c;45(suppl 1):169.

Wells JCK, Fuller NJ. Precision and accuracy in a metabolic monitor for indirect calorimetry. *European Journal of Clinical Nutrition* 1998;52:536-540.

Wideman L, Stoudemire NM, Pass KA, McGinnes CL, Gaesser GA, Weltman A. Assessment of the Aerosport TEEM 100 portable metabolic measurement system. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 1996;28:509-15.

## **Anexo 1**

### **Artigo da autora**

**Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura. Cadernos de Saúde Pública 2001;17:801-17.**

## Aspectos históricos e metodológicos da medição e estimativa da taxa metabólica basal: uma revisão da literatura

Historical and methodological aspects of the measurement and prediction of basal metabolic rate: a review

Vivian Wahrlich <sup>1</sup>  
Luiz Antonio dos Anjos <sup>1,2</sup>

---

<sup>1</sup> Centro de Estudos da Saúde do Trabalhador e Ecologia Humana, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rua Leopoldo Bulhões 1480, Rio de Janeiro, RJ 21041-210, Brasil.  
wahrlich@ensp.fiocruz.br  
<sup>2</sup> Laboratório de Avaliação Nutricional e Funcional, Departamento de Nutrição Social, Universidade Federal Fluminense, Rua São Paulo 30, 4º andar, Niterói, RJ 24040-115, Brasil.  
anjos@ensp.fiocruz.br

**Abstract** *This paper reviews the most relevant aspects of measuring basal metabolic rate (BMR). The authors discuss individual and lifestyle factors (age, anthropometry, smoking, physical activity, diet, menses, and ethnicity) as well as possible environmental factors at time of measurement which may alter BMR values. Various available predictive equations, especially those recommended by the World Health Organization in 1985, and subsequent validation studies, particularly in populations living in the tropics, are presented. The review indicates the need for more information on BMR from populations living in different parts of the world so that better estimates can be provided for clinicians and epidemiologists.*

**Key words** *Anthropometry; Measurements; Nutrition Assessment*

**Resumo** *A taxa metabólica basal (TMB) é uma das informações fisiológicas mais importantes em estudos nutricionais clínicos ou epidemiológicos, seja para se determinar as necessidades energéticas ou calcular o gasto energético de indivíduos ou populações. O presente artigo discute, com base numa revisão da literatura, a importância e os aspectos mais relevantes da medição da TMB. Inicialmente, faz-se um histórico do desenvolvimento dos conceitos e da técnica de medição da TMB até os dias atuais. São discutidos os fatores individuais (idade, antropometria, tabagismo, atividade física, dieta, ciclo menstrual e etnia) e os possíveis fatores ambientais presentes na hora da medição (temperatura, local e repouso) que podem influir no valor da TMB. Apresenta-se as várias equações de predição de TMB disponíveis, em especial a sugerida pela Organização Mundial da Saúde em 1985, e discute-se os estudos realizados desde então, que tentam validar seu uso internacionalmente, particularmente, em populações vivendo nos trópicos. O artigo aponta para a necessidade de se obter mais informações sobre o metabolismo basal nos vários segmentos populacionais vivendo em diferentes regiões do mundo, para que melhores estimativas possam ser fornecidas tanto para o uso clínico quanto epidemiológico.*

**Palavras-chave** *Antropometria; Medições; Avaliação Nutricional*



## Introdução

A taxa metabólica basal (TMB) é a quantidade de energia necessária para a manutenção das funções vitais do organismo, sendo medida em condições padrão de jejum, repouso físico e mental em ambiente tranquilo com controle de temperatura, iluminação e sem ruído (Bursztein et al., 1989; Garrow, 1974; Harris & Benedict, 1919). Desde o século XIX, a medição da TMB é feita através da determinação da quantidade de calor produzida pelo organismo (calorimetria direta) ou pelo cálculo de calor indiretamente (calorimetria indireta) a partir do consumo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$ ) e excreção de gás carbônico ( $\dot{V}CO_2$ ) tanto para fins diagnósticos quanto nutricionais. Entretanto, somente a partir do estudo de Harris & Benedict, em 1919, é que houve uma tentativa de sistematização das informações existentes sobre o metabolismo basal com o desenvolvimento de equações de predição da TMB, a partir de medidas antropométricas, já que a calorimetria não era muito disponível. Com a mudança de orientação na estimativa das necessidades energéticas humanas, da ingestão para o gasto energético sugerida pela Food and Agriculture Organization/World Health Organization/United Nations University (FAO/WHO/UNU, 1985) houve a necessidade de atualização das informações existentes sobre o metabolismo basal, com revisão das equações de predição da TMB (Schofield, 1985). A partir de então, vários estudos têm demonstrado que as equações tendem, em sua maioria, a superestimar a TMB em várias populações, principalmente, as que vivem nos trópicos (Henry & Rees, 1991). O objetivo do presente artigo é revisar vários aspectos relacionados à medição da TMB, incluindo alguns aspectos históricos, e a validade do uso internacional, particularmente nas populações vivendo nos trópicos, das equações de predição atualmente existentes.

## Importância da medida de TMB

A TMB é o principal componente do gasto energético diário, podendo representar de 50% (nos indivíduos muito ativos fisicamente) a 70% (nos mais sedentários) do total de energia gasta diariamente (Clark & Hoffer, 1991). Baseado nesta evidência, o gasto energético (GE) diário deveria nortear necessariamente as recomendações energéticas. Apesar de ser uma conclusão óbvia, somente a partir de 1985 que se passou a proceder desta forma (FAO/WHO/UNU, 1985). Até então, as recomendações energéticas po-

pulacionais eram derivadas de informações sobre o consumo alimentar de populações, ditas saudáveis (Schoeller, 1999) valores que, normalmente, são menores (20%) do que o gasto energético medido por água duplamente marcada (Seale & Rumpler, 1997). Nesta nova orientação os componentes do gasto energético deveriam ser expressos como múltiplos da TMB, numa tentativa de se controlar as características individuais como as dimensões e composição corporais, o estado nutricional e características demográficas como idade e gênero. Como se reconhecia que não havia uma grande disponibilidade de calorímetros, os órgãos internacionais (FAO/WHO/UNU, 1985) sugeriram o uso de equações de predição para estimar a TMB. Assim, tanto para o nível individual quanto o populacional, a TMB é o valor base para se estabelecer as necessidades energéticas (James & Schofield, 1990).

O uso da TMB no estabelecimento das necessidades energéticas, por si só, já seria motivo suficiente para sua determinação nos vários segmentos da população da forma mais exata possível, seja em avaliações clínicas ou epidemiológicas. Além disso, seu uso em estudos epidemiológicos sobre a ingestão alimentar e a determinação do nível de atividade física, também demonstra sua importância. Por exemplo, usualmente, avalia-se o grau de confiabilidade na informação sobre a ingestão energética de indivíduos dividindo-se o valor de energia ingerida, pela TMB. Quando em pessoas obesas, o valor desta razão é menor do que 1,2 costuma-se dizer que os indivíduos subestimaram a ingestão, visto que, os mesmos não poderiam ser obesos ingerindo somente 1,2 vezes a TMB (MacDiarmid & Blundell, 1997) valor que é considerado como de manutenção (James & Schofield, 1990). Na análise da dieta da população americana com idade superior a vinte anos, investigada através de recordatório de 24h durante a fase I do estudo americano NHANES III (*National Health and Nutrition Examination Survey*) (n = 7.769) e com o valor de TMB estimado através de equações de predição, o valor médio da razão no total das mulheres foi de 1,26, sendo de 1,09 nas obesas (Briefel et al., 1995). Analisando o mesmo banco de dados, Briefel et al. (1997) utilizaram o valor de 0,9 como critério para subestimativa de ingestão, encontrando 18% de homens e 28% de mulheres na população americana abaixo deste valor. Entre estes, havia mais indivíduos com sobrepeso e sedentários do que os que tinham valores superiores a 0,9. Duas possibilidades de explicação para estes valores emergem. Inicialmente, deve-se questionar o método de obten-

ção da informação de ingestão alimentar, seja através de recordatório de 24h ou por registro (diário) alimentar, visto que os indivíduos, principalmente os obesos (Prentice et al., 1996), tendem a subestimar a ingestão, quando são obrigados a dar tal informação. Ou seja, o numerador da razão pode estar subestimado. Por outro lado, também é possível que a TMB (o denominador) esteja sendo superestimado pelas equações de predição, mesmo na população americana (Clark & Hoffer, 1991; Owen et al., 1986, 1987). Assim, as conclusões sobre o estado nutricional de populações (e dos indivíduos) padecem de credibilidade, em parte, pela não mensuração da TMB.

Da mesma forma, o nível de atividade física (NAF), representando a razão entre o gasto energético e a TMB de 24h, é utilizado com relativa frequência, como um índice na classificação da atividade física de indivíduos em estudos epidemiológicos (Anjos, 1999). Alguns autores utilizam o valor do NAF leve (1,55 e 1,56, para homens e mulheres, respectivamente; FAO/WHO/UNU, 1985) como valor abaixo do qual se caracterizaria indivíduos como sedentários (Cervato et al., 1997; Martins et al., 1993; Rego et al., 1990). Deve-se ter em mente que esses valores foram recomendados para se calcular as necessidades energéticas, baseando-se nas características ocupacionais da população. 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, 2000). Por exemplo, Vinken et al. (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 gasto energético de 24h através de água duplamente marcada (método atualmente preferido para sua medição; Schoeller, 1999) e a TMB por calorimetria indireta. Os autores concluíram que os valores de NAF recomendados deveriam ser revistos, opinião que não é consensual para os países em desenvolvimento (Sheety et al., 1996). Black et al. (1996) revisaram as informações de 574 medições de gasto energético através de água duplamente marcada e encontraram valores médios de NAF, semelhantes aos sugeridos pelo Comitê de Expertos da FAO/WHO/UNU (1985) o que fez com que os autores sugerissem a manutenção dos valores de NAF. Da mesma forma, os autores sugerem a manutenção de valores recomendados pelo Departamento de Saúde do Reino Unido, que incorporam as atividades não ocupacionais e que são, em geral, menores do que os da FAO/WHO/UNU (1985)

principalmente para as atividades pesadas. Para as populações vivendo em condições menos desenvolvidas, não existem dados confiáveis suficientes de gasto energético, mas parece ser necessário revisar os valores de NAF, baseado nas evidências de que, aparentemente, os dados de gasto energético (numerador) usados para seu cálculo foram subestimados (Haggarty et al., 1994; Heini et al., 1996) além da evidente superestimativa da TMB (denominador) usada para essas populações (Cruz et al., 1999; Henry & Rees, 1991; Wahrlich, 2000). De qualquer jeito, e para qualquer uso que se tenha em mente, a TMB deve ser obtida da forma mais exata possível.

### Aspectos históricos do estudo do metabolismo basal

O interesse sobre o metabolismo remonta à antiguidade, quando surgiu a teoria da "perspiração insensível" da escola de Hipócrates (King, 1924) que baseava-se na observação de que um adulto não ganhava peso apesar de ingerir uma quantidade de alimento e líquido muito superior a sua excreção. Foi somente em 1780 que o metabolismo começou a ser melhor entendido através dos experimentos de Antoine Laurent Lavoisier (Lusk, 1917) nobre francês que identificou que um gás, por ele chamado de oxigênio, mas anteriormente denominado "ar de fogo" (*dephlogisticated air*) por Joseph Priestley (McHenry & Beaton, 1963), combinava-se com substâncias combustíveis liberando calor. Para provar que a oxidação era a fonte de calor em animais, Lavoisier construiu, juntamente com Laplace, o primeiro calorímetro direto para animais e desenvolveu o princípio da calorimetria indireta ao medir a quantidade de gás carbônico produzida pelo animal durante o mesmo período da calorimetria direta (Taylor et al., 1956). Nesse experimento, Lavoisier conseguiu evidenciar que a quantidade de calor produzida pelo animal era praticamente igual ao calor calculado a partir do gás carbônico produzido pela respiração. Com isto, ficou comprovada a hipótese de que o carbono contido no organismo combinava-se com o oxigênio para produzir calor. Lavoisier estendeu seus experimentos para o homem, estudando aparentemente, apenas as trocas gasosas e demonstrando que a exposição ao frio, a digestão e a atividade física eram fatores que elevavam o consumo de oxigênio (Du Bois, 1936; King, 1924) e, conseqüentemente, a produção de calor ou metabolismo.

Durante o século XIX, com o estabelecimento das leis da termodinâmica, vários calo-

rimetros diretos e câmaras respiratórias foram desenvolvidos (Durnin & Passmore, 1967) na tentativa de aperfeiçoar as técnicas propostas por Lavoisier. Neste período, também ocorreram descobertas importantes que possibilitaram o desenvolvimento de métodos mais exatos para medir o metabolismo através das trocas gasosas, como a identificação dos substratos oxidados pelo organismo, a quantidade de oxigênio necessária para oxidá-los e o valor calorífico dos componentes dos alimentos quando oxidados no organismo (Lusk, 1917; Mchenry & Beaton, 1963).

Em 1894, Rubner construiu o primeiro calorímetro direto de êxito para estudo experimental em cães (Webb, 1985). Em conexão ao calorímetro, foi utilizado o aparelho de Pettenkofer-Voit que possibilitava, além de medir a perda de calor, obter a quantidade de gás carbônico produzida. Neste caso, ele utilizava ao mesmo tempo a calorimetria direta e indireta, podendo observar a concordância entre os valores obtidos pelos dois métodos (Boothby & Sandiford, 1920) e, provando assim, que a lei de conservação de energia também se aplicava aos animais.

Até o final do século XIX, a calorimetria limitava-se a medir a produção de calor em animais (Webb, 1985) enquanto que os aparelhos (câmaras) respiratórios já tinham sido utilizados para experimentos em pessoas com diabetes, anemia e malária. No período entre 1892 e 1899, nos Estados Unidos, Atwater & Rosa desenvolveram o primeiro calorímetro humano utilizando-se também do aparelho de Pettenkofer-Voit em conexão ao calorímetro (Boothby & Sandiford, 1920). Este aparelho era grande o suficiente para manter, confortavelmente, em seu interior um homem por duas semanas ou mais e era provido de cama, cadeira, mesa e um ciclo-ergômetro. As medições, então, poderiam ser feitas com o indivíduo em repouso, trabalhando ou exercitando-se. Posteriormente, em 1905, Atwater & Benedict aperfeiçoaram este calorímetro para que fosse possível a determinação simultânea também do consumo de oxigênio. A medida do oxigênio consumido, ou seja, a calorimetria indireta, significou importante melhora na mensuração da produção de calor (Boothby & Sandiford, 1920) pois possibilitava quantificar o oxigênio utilizado na oxidação dos substratos energéticos, além da possibilidade de se obter o consumo de energia nas várias atividades, ao invés do gasto energético total de um intervalo de tempo grande.

Benedict, em 1907, assume a direção do Laboratório de Nutrição do Carnegie Institution of Washington, localizado em Boston, Estados

Unidos, dedicando-se à mensuração das trocas respiratórias. Ele construiu um calorímetro respiratório e realizou alguns estudos com pacientes diabéticos, porém seu interesse se voltou para a medição da taxa metabólica basal em indivíduos saudáveis. Benedict continuou a aperfeiçoar as técnicas da calorimetria indireta, além de testar vários aparelhos respiratórios e desenvolver um próprio para uso em hospitais (Boothby & Sandiford, 1920).

Em 1919, Harris & Benedict publicaram os dados de taxa metabólica basal de 333 indivíduos, empregando pela primeira vez a análise estatística mais sofisticada disponível à época em dados fisiológicos. Desta análise foram deduzidas as primeiras equações de predição da taxa metabólica basal em homens, mulheres e crianças que serviriam de controle para comparação em situações especiais de dieta ou doença.

Nesta época, a TMB medida por calorimetria direta ou indireta servia como diagnóstico, principalmente, de distúrbios da tireóide. Com o passar do tempo, e com o advento de outros métodos para o diagnóstico de problemas da tireóide (Bursztein et al., 1989) o interesse pelo metabolismo basal diminuiu e a calorimetria direta passou a ser utilizada, principalmente, para estudos sobre a regulação da temperatura corporal, interesse que se estendeu até após a segunda guerra mundial. É a partir da década de 70, que uma nova era se inicia com os estudos de balanço energético e mais adiante, nos anos 80, a calorimetria indireta passa a ser utilizada na determinação dos requerimentos energéticos em pacientes graves submetidos à nutrição enteral e parenteral (Bursztein et al., 1989).

A retomada do interesse em medir a TMB de indivíduos saudáveis, surgiu após um grupo de expertos da FAO e Organização Mundial da Saúde (OMS) ter determinado que as necessidades energéticas deveriam ser calculadas com base no gasto energético diário, expresso como múltiplos da TMB (FAO/WHO/ UNU, 1985). Para tal finalidade foram desenvolvidas equações de predição da TMB que foram recomendadas para uso internacional, fundamentalmente, pela ainda pouca disponibilidade de calorímetros indiretos para sua medição.

### Fundamentação teórica da calorimetria indireta

A calorimetria indireta é o método onde o gasto energético é estimado através da medição das trocas respiratórias, ou seja, do volume de oxigênio consumido ( $\dot{V}O_2$ ) e do volume de gás

carbônico produzido ( $\dot{V}CO_2$ ) (Ferrannini, 1988; Murgatroyd et al., 1993). Ela baseia-se nos princípios de que não existe uma reserva apreciável de oxigênio no organismo; que o oxigênio consumido reflete a oxidação dos nutrientes e que toda a energia química no organismo é proveniente da oxidação de carboidratos, gorduras e proteínas (Green, 1994). A quantidade de oxigênio utilizada para a oxidação e a produção de gás carbônico, dependerá do substrato que está sendo oxidado. O quociente respiratório ( $QR = \dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ) varia entre 0,7, durante a oxidação de gordura, e 1 quando apenas houver a oxidação de carboidratos. Para converter os valores de  $\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}CO_2$  em energia pode ser utilizada a tabela de Zuntz, elaborada no início do século XX (Lusk, 1917) que fornece os equivalentes energéticos por litro de oxigênio consumido em relação a cada QR não protéico. Em situações em que só o  $\dot{V}O_2$  é medido, assume-se um equivalente energético de 5 kcal por litro de oxigênio consumido. Quando tanto o  $\dot{V}O_2$  quanto o  $\dot{V}CO_2$  (ambos em l/min) são disponíveis, pode-se utilizar a equação proposta por Weir (1949):  $[(3,9 \times \dot{V}O_2) + (1,1 \times \dot{V}CO_2)]$  que é um cálculo muito mais prático, dispensando a medição do metabolismo protéico ao incorporar um fator de correção pela sua não medição.

### Fatores que influenciam a TMB ou sua medição

A TMB, por definição, deve ser medida controlando-se vários fatores, alguns óbvios, como a atividade física prévia, a ingestão alimentar e a temperatura e o nível de ruído ambiental; outros mais sutis, como o tabagismo e o período no ciclo menstrual. Quando a medição é realizada sem o controle destes fatores, costuma-se chamar o valor obtido de taxa metabólica de repouso. Entretanto, algumas características inerentes aos indivíduos sendo avaliados, como a idade, a aptidão física e a dimensão e composição corporais, podem explicar as diferenças interindividuais na TMB. A influência desses fatores na TMB serão revisados brevemente a seguir.

#### Dimensão e composição corporais

A TMB sofre influência das características individuais como a dimensão (massa corporal, estatura e superfície corporal – que é uma medida derivada da massa corporal e da estatura) e composição corporais dos indivíduos (Censi et al., 1998; FAO/WHO/UNU, 1985). A massa cor-

poral apresenta uma correlação quase sempre elevada com a TMB, mas que varia bastante (coeficiente de correlação entre 0,45 a 0,96; Harris & Benedict, 1919; Kendrick et al., 1990; Ravussin et al., 1982). A superfície corporal foi a primeira medida utilizada para expressar a TMB seguindo a Lei da Superfície Corporal, estabelecida por Rubner, em 1883, a partir de estudos em animais, que postulava que a produção de calor era constante por unidade de superfície corporal (Du Bois, 1936; Harris & Benedict, 1919). Desta forma, animais de tamanhos variados teriam a mesma produção de calor por unidade de área de superfície corporal. Harris & Benedict (1919) questionaram a aplicabilidade desta lei, ao demonstrar que o metabolismo basal tinha uma correlação elevada tanto com a área de superfície corporal quanto com a massa corporal não sendo, porém, constante por unidade de superfície corporal como previamente estabelecido e nem independente da massa corporal como acreditava-se.

A expressão da TMB por unidade de massa e superfície corporais é uma prática muito comum, facilitando a comparação dos valores de TMB entre indivíduos com dimensões diferentes. Contudo, esta maneira de expressar a TMB não é perfeita pelo fato de não conseguir eliminar as diferenças interindividuais decorrentes de diferentes composições corporais (Censi et al., 1998; Cunningham, 1982). A massa corporal engloba tecidos de diversas atividades metabólicas, como a gordura corporal, que apresenta um consumo de oxigênio desprezível, e a massa livre de gordura, componente da massa corporal responsável pelo maior consumo de oxigênio. A massa livre de gordura, por sua vez, é constituída por órgãos e tecidos que diferem quanto à atividade metabólica. A massa extracelular possui baixa atividade metabólica (Cunningham, 1982) e a massa celular corporal, também chamada de massa celular ativa, que em um indivíduo saudável corresponde entre 50 a 60% da massa livre de gordura, é responsável pela maior parte do metabolismo e compreende os componentes celulares das vísceras, cérebro, sangue e massa muscular (Ellis, 1996) que apresentam gastos energéticos distintos. As vísceras correspondem entre 20 e 30% da massa corporal de um adulto saudável (Shephard, 1991) sendo responsáveis por quase 60% da TMB. A massa muscular, que representa a maior parte da massa corporal, é responsável por apenas 20%, no máximo 25%, do consumo de oxigênio em condições basais (Brozek & Grande, 1955; Durnin & Passmore, 1967).

Em indivíduos obesos, parece que o aumento da TMB não é diretamente proporcional ao

aumento da massa livre de gordura (Prentice et al., 1996). Uma explicação para tal fato é que na obesidade os órgãos metabolicamente ativos não se hipertrofiaram ou aumentam em menor escala do que a massa muscular, alterando assim a composição da massa livre de gordura. Portanto, a TMB depende da quantidade e da atividade metabólica da massa celular corporal, assim como da sua proporção em relação à massa livre de gordura (Censi et al., 1998; FAO/WHO/UNU, 1985; Kendrick et al., 1990). Apesar de existirem sugestões de que a TMB seja expressa em função da massa livre de gordura e não da massa corporal total (Piers et al., 1998) são ainda poucos os dados disponíveis de TMB e de composição corporal no mesmo grupo de indivíduos, devido, principalmente, à limitação metodológica da medição da composição corporal.

- Idade

A diminuição da TMB relacionada com a idade foi reconhecida já por Harris & Benedict (1919), ao documentarem uma correlação negativa entre TMB e idade para homens ( $r = -30$ ) e mulheres ( $r = -20$ ) fato que fez os autores incluírem a idade na equação de predição para corrigir os valores estimados.

O declínio da TMB com a idade parece ser um reflexo das alterações na composição corporal que ocorrem com o envelhecimento, tais como a diminuição da massa muscular e o aumento da massa de gordura, sem, aparentemente, modificação na massa visceral. Tzankoff & Norris (1977) evidenciaram um decréscimo do consumo de oxigênio que foi proporcional à diminuição da massa muscular em homens para cada década após os 45 anos de idade. Este achado foi, posteriormente, confirmado por um estudo longitudinal no qual foram acompanhados 355 homens por 26 anos (Tzankoff & Norris, 1978). Mais recentemente, Piers et al. (1998) questionam se a redução na TMB com o envelhecimento seja causada, exclusivamente, pela redução da quantidade de massa livre de gordura ou se ocorrem alterações qualitativas do tecido, visto que, a TMB expressa em função da massa livre de gordura ainda é menor em idosos comparativamente a adultos jovens.

- Atividade física

Durante a atividade física há aumento do consumo de oxigênio que pode manter-se por várias horas após o término do exercício, elevando o gasto energético no repouso. Este fenômeno

é conhecido como débito de oxigênio (ou consumo de oxigênio excessivo pós exercício) e sua duração dependerá da intensidade e duração do exercício realizado (Sedlock et al., 1989). Entretanto, o aumento da TMB após uma sessão de exercício parece ser transitório e não se manteria por mais de 24 horas (Bingham et al., 1989; Wilmore et al., 1998). Broeder et al. (1992) observaram valores de TMB significativamente maiores, medidos após 14 horas de um treinamento físico, em relação aos valores obtidos na fase de pré-treinamento, não sendo diferentes, entretanto, quando a taxa foi medida 48 horas após o exercício. Weststrate et al. (1990) também não evidenciaram um efeito prolongado e sistemático na TMB em indivíduos submetidos a uma sessão de exercício de intensidade moderada, e outro estudo apenas verificou um pequeno aumento (3,9%) na TMB em indivíduos submetidos a uma sessão de exercício intenso (Goldberg et al., 1990).

Apesar dos estudos não serem conclusivos quanto à relação entre o condicionamento físico e TMB, especula-se que a prática de atividade física regular possa aumentar a TMB em consequência da adaptação crônica ao exercício, visto que foi encontrada uma correlação positiva entre a TMB e o consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_2$  máximo) (Burke et al., 1993). O aumento na TMB, no entanto, parece ocorrer apenas em atletas altamente treinados, i.e.,  $\dot{V}O_2$  máximo  $70 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Poehlman et al., 1988a) já que em indivíduos não atletas submetidos a treinamento físico com duração variando entre 9 e 20 semanas, não foram evidenciadas alterações significativas na TMB quando expressa em relação à massa livre de gordura (Bingham et al., 1989; Broeder et al., 1992; Wilmore et al., 1998).

É importante, então, quando se pretende medir a TMB, que os indivíduos sejam orientados a manter as suas atividades cotidianas e a evitar qualquer tipo de atividade física intensa durante o dia que precede o teste, com o intuito de anular qualquer efeito agudo do exercício na TMB. Durante a medição da taxa, o indivíduo sendo submetido à medição deve ser orientado a permanecer relaxado, assim como, informado dos detalhes do procedimento para evitar a tensão proveniente do desconhecimento do mesmo (Boothby & Sandiford, 1920).

- Dieta

O aumento do consumo de oxigênio após a ingestão de alimentos já havia sido descrito por Lavoisier em seus estudos sobre o metabolismo no homem (King, 1924). Este aumento do

gasto energético é devido ao processo de digestão, absorção e armazenamento dos nutrientes ingeridos, principalmente a proteína, e recebe o nome de termogênese induzida pela dieta ou efeito térmico dos alimentos, ou ainda, ação dinâmica específica dos alimentos (FAO/WHO/UNU, 1985).

Relatos do começo do século XX (Boothby & Sandiford, 1920) indicavam um aumento de 46% na produção de calor após ingestão de uma refeição rica em proteínas, efeito que permanecia por cerca de 12 horas. Isto poderia sugerir que a TMB, em indivíduos vegetarianos, fosse menor pela pequena ingestão protéica, hipótese que foi utilizada para explicar as diferenças de TMB encontradas entre indianos e europeus e norte-americanos (Soares & Shetty, 1988). Entretanto, Harris & Benedict (1919) não observaram diferenças significativas de TMB entre vegetarianos e não vegetarianos e, mais recentemente, Poehlman et al. (1988b) evidenciaram o mesmo, o que parece indicar que o efeito no metabolismo se restringe a pouco tempo após a ingestão protéica.

Com o objetivo de avaliar a influência tardia da ingestão protéica no metabolismo basal, Soares et al. (1988) conduziram um estudo em homens que receberam dietas iso-energéticas por três dias, porém com quantidades diferenciadas de proteína (0,9; 1,2 e 1,5g/kg/dia) para cada dia, com a TMB sendo medida no dia seguinte, após 12 horas de jejum. Os autores não observaram nenhum efeito da dieta sobre a TMB. Estas evidências sugerem que não há necessidade de padronização da dieta no dia que precede a medição da TMB, porém o jejum é fundamental pois a presença do alimento no trato gastrointestinal eleva o gasto energético pela ação dinâmica dos alimentos. Um intervalo de 12 horas parece ser suficiente para que o processo de digestão esteja finalizado (Bursztein et al., 1989) e, desta forma, não afete a TMB.

- Clima

O clima foi durante muito tempo, utilizado para explicar as diferenças encontradas entre a TMB de populações residentes em diferentes regiões do mundo, baseado, fundamentalmente, em estudos realizados na primeira metade do século XX. Almeida (1919, 1920) publicou os dados de TMB medidos em vinte homens brasileiros, residentes no Rio de Janeiro, evidenciando que os valores encontrados foram em média 20% menores do que o valor de homens norte-americanos. A partir destes estudos, o autor concluiu que o metabolismo basal de indivíduos nascidos e residentes em regiões tro-

picais era menor do que o de indivíduos de regiões de climas frio e temperado. Esta constatação foi reforçada, segundo Almeida (1924), pelos achados de Montoro que encontrou valores de TMB 15,8 e 12,9% menores do que os estimados pela equação de Harris & Benedict (1919) para homens e mulheres cubanos.

Outros estudos apoiaram a idéia de que o metabolismo basal de indivíduos das regiões tropicais era menor do que em climas temperados. Galvão (1948) mediu a TMB em cinquenta homens residentes em São Paulo (cidade localizada sobre o Trópico de Capricórnio) e constatou valores menores quando comparados a de homens norte-americanos de massa corporal semelhante. As diferenças variaram entre 5 a 12% havendo uma tendência a diminuir com o aumento da massa corporal. Mais recentemente, uma análise de dados de TMB em indivíduos residentes em países tropicais obtidos da literatura (Henry & Rees, 1991) demonstrou que os valores medidos eram em média 8% menores do que os estimados pela equação de Schofield (1985) que foi derivada de uma amostra composta, principalmente, por europeus e norte-americanos.

Em contraposição a estes achados, crescem as evidências de que não existem diferenças entre a TMB em indivíduos vivendo em diferentes regiões climáticas. Lawrence et al. (1988) não evidenciaram diferenças significativas entre a TMB medida em mulheres da Escócia, Gâmbia e Tailândia que apresentavam valores de massa livre de gordura semelhantes. Da mesma forma, não foram encontradas diferenças entre a TMB de indianos e norte-americanos, quando as comparações foram realizadas com base em dados pareados para idade e massa corporal (Soares et al., 1993). Em um estudo longitudinal (até seis meses) comparativo entre recém-imigrados à Inglaterra e nativos, Hayter & Henry (1993) não encontraram diferença significativa entre os grupos na taxa expressa em relação à massa corporal.

Talvez a interpretação quanto a diferenças da TMB entre indivíduos residentes em países tropicais e temperados tenha sido equivocada por ser baseada, principalmente, na comparação entre valores medidos e estimados por padrões ou equações derivadas de europeus e norte-americanos e não, necessariamente, entre indivíduos com características semelhantes de idade, massa corporal e composição corporal. Além disso, há evidências de que as equações de Harris & Benedict (1919) assim como a de Schofield (1985) também superestimam a TMB em norte-americanos e europeus (Clark & Hoffer, 1991; de Boer et al., 1988) indicando

desta forma, possíveis problemas relacionados às próprias equações, fazendo com que estas não fossem adequadas para apontar diferenças entre indivíduos submetidos a diferentes climas. Desta maneira, parece que a melhor forma para se verificar possíveis diferenças de TMB em função do clima seja comparar os valores obtidos com um grupo controle pareado para idade, gênero, massa corporal e composição corporal e, se possível, que a TMB tenha sido medida utilizando-se a mesma metodologia.

Recentemente, Wahrlich & Anjos (2000) encontraram valores de TMB em 45 mulheres jovens de Porto Alegre, Rio Grande do Sul (30° 01' 59" Sul e 51° 13' 48" Oeste) iguais aos descritos para mulheres da mesma idade vivendo no Rio de Janeiro (22° 53' Sul e 43° 06' 13" Oeste) descritos por Cruz et al. (1999). Cabe ressaltar que ambos os estudos utilizaram os mesmos equipamentos, seguindo o mesmo protocolo. Assim, parece que as diferenças climáticas, regionais e, talvez, étnicas não parecem influenciar o metabolismo basal.

- Tabagismo

Geralmente, o grupo de indivíduos fumantes apresenta uma massa corporal média menor quando comparada a de não fumantes (Wack & Rodin, 1982). A menor massa corporal poderia ser explicada por alterações no gasto energético que seriam induzidas por um aumento da TMB, em função do tabagismo ou pelo próprio efeito térmico do fumo (Dallosso & James, 1984).

A nicotina contida no cigarro parece elevar a TMB, visto que a inalação isolada desta substância por fumantes, resulta em aumento de 6% nos valores medidos (Perkins et al., 1989). Em outro estudo, o consumo de um cigarro causou um aumento de 3% da TMB em relação ao grupo controle, aumento que permaneceu por trinta minutos (Dallosso & James, 1984). Foi evidenciado que o efeito dos cigarros consumidos ao longo do dia persiste durante a noite (Warwick & Busby, 1993) não afetando, entretanto, a TMB medida na manhã seguinte. Mais recentemente, Warwick et al. (1995) não encontraram evidência para um efeito crônico do fumo em qualquer dos componentes do gasto energético diário em indivíduos fumantes, em períodos de fumo e de não fumo (4 a 8 semanas) avaliados num calorímetro respiratório.

Desta forma, parece ainda existir controvérsias sobre a inter-relação entre o tabagismo e o aumento do gasto energético. Entretanto, apesar de existir um efeito agudo da nicotina e do fumo sobre a TMB, a abstinência de 12 horas pode ser suficiente para anular o aumento

agudo do gasto energético decorrente do consumo de cigarros.

- Ciclo menstrual

A investigação sobre a existência de uma periodicidade da TMB em função do ciclo menstrual é de interesse científico desde o início do século XX. Snell et al. (1920) referiram um aumento médio de 10% na TMB em dez mulheres no período pré-menstrual e durante a menstruação, seguido de um declínio no período pós-menstrual. Porém, vários estudos conduzidos posteriormente não evidenciaram nenhuma alteração significativa da TMB durante o ciclo menstrual (Wiltshire, 1921) a não ser um pequeno declínio dos valores durante a menstruação (Benedict & Finn, 1928; Blunt & Dye, 1921; Hitchcock & Wardwell, 1929). Apesar das conclusões divergentes, os dados de estudos conduzidos durante a década de 20, concordavam no aspecto que se refere à observação de um aumento da TMB no período pré-menstrual que poderia estar vinculado à ovulação (Hitchcock & Wardwell, 1929).

Mais recentemente, Solomon et al. (1982) mediram a TMB num grupo de seis mulheres durante as fases folicular e luteal que foram determinadas a partir da duração do ciclo menstrual de cada mulher. A TMB em cinco delas variou significativamente durante o ciclo menstrual, sendo observado um aumento dos valores na fase luteal do ciclo, confirmando assim, os achados prévios que indicavam um aumento no período pré-menstrual. Bisdee et al. (1989) também observaram um aumento brusco da TMB entre a fase folicular tardia e a fase luteal inicial. O aumento da TMB poderia ser atribuído, em parte, a alterações dos níveis de progesterona que eleva a produção de calor corporal, já que a secreção deste hormônio coincide com as alterações observadas na TMB (Solomon et al., 1982). Entretanto, outros estudos não evidenciaram diferenças significativas entre as fases do ciclo menstrual (Piers et al., 1995; Tai et al., 1997).

Outro aspecto que deve ser considerado é o possível efeito na TMB de mulheres usuárias de anticoncepcional oral. Curtis et al. (1996) observaram valores de TMB mais estáveis durante todo o ciclo menstrual em mulheres que usaram anticoncepcional oral. Entretanto, Duffey et al. (1997) mostraram que mulheres usuárias de anticoncepcional oral tinham a TMB maior em, aproximadamente, 5% do que mulheres não usuárias do mesmo medicamento com as mesmas características físicas e de composição corporal. Desta forma, nas mulheres

em idade fértil não usuárias de anticoncepcional oral, parece haver uma maior variabilidade da TMB resultante da influência do ciclo menstrual. Contudo, esta variação pode ser muito pequena em relação às flutuações diárias causadas por outros fatores (Solomon et al., 1982). As discrepâncias entre estudos fazem com que seja recomendável a padronização quanto ao período do ciclo menstrual em que serão realizadas as medições de TMB. Este procedimento permite a comparação da TMB entre as mulheres, evitando possíveis diferenças decorrentes do efeito do ciclo menstrual sobre os valores medidos.

- Ambiente do teste

As medições de TMB devem ser realizadas após uma noite de sono (Bursztein et al., 1989) e, de preferência, logo após o indivíduo acordar. Para se obter a medição imediatamente após acordar seria necessário que o indivíduo dormisse no laboratório ou então, o pesquisador se deslocasse até a residência do indivíduo. Ambas as situações, entretanto, são artificiais e podem interferir nos resultados. O fato de dormir num ambiente e cama diferentes pode afetar a qualidade do sono alterando os valores de TMB (Turley et al., 1993) e o mesmo poderia ocorrer pela expectativa do indivíduo em receber o pesquisador em casa. Alternativamente, e o que é realizado na maioria dos estudos, os indivíduos dormem em suas residências e são instruídos a se deslocarem até o laboratório com o mínimo de esforço. Apesar de Berke et al. (1992) terem observado um aumento de 8% na TMB dos indivíduos que passaram a noite em casa e se deslocaram até o laboratório, outros estudos não evidenciaram diferenças significativas entre os valores obtidos quando os indivíduos passaram a noite em casa e se deslocaram até o local em que seria realizada a medição, do que quando dormiram no próprio laboratório (Bandini et al., 1995; Figueroa-Colon et al., 1996; Turley et al., 1993).

Contudo, a medida da TMB só deve ser iniciada após um período de repouso para diminuir qualquer efeito da atividade física recente, como o ato de vestir-se, dirigir ou caminhar. Harris & Benedict (1919) recomendavam um período mínimo de trinta minutos. Porém, Boothby & Sandiford (1920) observaram que não havia diferença entre os valores da TMB pelo repouso preliminar superior a vinte minutos e concluíram que este período seria adequado para atingir o nível basal se nenhum exercício físico extremo precedesse o teste. Na prática, um tempo maior do que este pode fa-

zer com que o indivíduo durma ou fique impaciente.

A temperatura do ambiente também é importante na medição de TMB, visto que a temperatura acima ou abaixo da zona térmica de neutralidade, citada por Henry & Emery (1986) como sendo de 25 a 26°C, aumenta o gasto energético através do suor ou tremor para manter a temperatura corporal constante (Bursztein et al., 1989). Um estudo em mulheres submetidas à calorimetria direta durante trinta horas avaliou os efeitos da temperatura no gasto energético e TMB em duas ocasiões com as mulheres vestidas com uma roupa fina de algodão (Dauncey, 1981). Foi evidenciado um aumento de cerca de 11% nos valores de TMB quando as mulheres permaneceram no calorímetro direto com temperatura de 22°C (temperatura suficiente para evitar o tremor) em relação aos valores obtidos nas mesmas mulheres quando expostas a uma temperatura de 28°C.

Em ambientes em que a temperatura está abaixo da zona de neutralidade o uso de roupa adequada pode ser suficiente para evitar o aumento do gasto energético devido ao efeito térmico do frio que produz o tremor e o eriçamento dos pêlos corporais.

#### Equações de predição: descrição e validade

Na literatura são encontradas diversas equações de predição da TMB. Na Tabela 1 são apresentadas as equações de Harris & Benedict (1919), Schofield (1985), FAO/WHO/UNU (1985) e Henry & Rees (1991), o número de indivíduos cujos dados foram usados na derivação das respectivas equações, assim como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para cada uma delas. Observando as equações, é digno de nota que, geralmente: (1) existem mais dados para homens do que para mulheres; (2) os  $R^2$  são maiores para os homens; e (3) os  $R^2$  são baixos, principalmente para as equações nos indivíduos após os 18 anos de vida.

As primeiras equações foram publicadas em 1919 por Harris & Benedict, derivadas de uma amostra composta por 136 homens, 103 mulheres e 94 crianças de origem norte-americana, considerados saudáveis, e obtidos através de calorimetria indireta. Os dados utilizados nas análises foram coletados no Laboratório de Nutrição do *Carnegie Institution of Washington* e em outros laboratórios associados, todos realizados com técnicas padronizadas e em aparelhos semelhantes. As medidas foram feitas com os indivíduos em jejum de 12 horas,



Tabela 1

Equações de predição da taxa metabólica basal, com o número amostral (n) e o coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), propostas por Harris & Benedict (1919), Schofield (1985), FAO/WHO/UNU (1985) e Henry & Rees (1991).

	Faixa Etária (anos)	Gênero	Equação	n	R <sup>2</sup>
Harris & Benedict (1919)			(kcal/dia)		
	15 a 74	Masculino	$66,4730 + 13,7516(MC) + 5,0033(E) - 6,7550(I)$	136	0,7534*
	15 a 74	Feminino	$655,0955 + 9,5634(MC) + 1,8496(E) - 4,6756(I)$	103	0,5337*
Schofield (1985)			(MJ/dia) <sup>1</sup>		
	< 3	Masculino	$0,249(MC) - 0,127$	162	0,9025***
		Feminino	$0,244(MC) - 0,130$	137	0,9216
	3 † 10	Masculino	$0,095(MC) + 2,110$	338	0,6889
		Feminino	$0,085(MC) + 2,033$	413	0,6561
	10 † 18	Masculino	$0,074(MC) + 2,754$	734	0,8649
		Feminino	$0,056(MC) + 2,898$	575	0,6400
	18 † 30	Masculino	$0,063(MC) + 2,896$	2.879	0,4225
		Feminino	$0,062(MC) + 2,036$	829	0,5329
	30 † 60	Masculino	$0,048(MC) + 3,653$	646	0,3600
		Feminino	$0,034(MC) + 3,538$	372	0,4624
	60	Masculino	$0,049(MC) + 2,459$	50	0,5041
		Feminino	$0,038(MC) + 2,755$	38	0,4624
FAO/WHO/UNU (1985)**			(MJ/dia) <sup>1</sup>		
	< 3	Masculino	$0,255(MC) - 0,226$		0,9409***
		Feminino	$0,255(MC) - 0,214$		0,9409
	3 † 10	Masculino	$0,0949(MC) + 2,07$		0,7396
		Feminino	$0,0941(MC) + 2,09$		0,7225
	10 † 18	Masculino	$0,0732(MC) + 2,72$		0,8100
		Feminino	$0,0510(MC) + 3,12$		0,5625
	18 † 30	Masculino	$0,0640(MC) + 2,84$		0,4225
		Feminino	$0,0615(MC) + 2,08$		0,5184
	30 † 60	Masculino	$0,0485(MC) + 3,67$		0,3600
		Feminino	$0,0364(MC) + 3,47$		0,4900
	60	Masculino	$0,0565(MC) + 2,04$		0,6241
		Feminino	$0,0439(MC) + 2,49$		0,5476
Henry & Rees (1991)			(MJ/dia) <sup>1</sup>		
	3 † 10	Masculino	$0,113(MC) + 1,689$	196	0,5625***
		Feminino	$0,063(MC) + 2,466$	88	0,1681
	10 † 18	Masculino	$0,084(MC) + 2,122$	409	0,6400
		Feminino	$0,047(MC) + 2,951$	233	0,3969
	18 † 30	Masculino	$0,056(MC) + 2,800$	1.174	0,3481
		Feminino	$0,048(MC) + 2,562$	350	0,4489
	30 † 60	Masculino	$0,046(MC) + 3,160$	274	0,4356
		Feminino	$0,048(MC) + 2,448$	98	0,5929

MC = massa corporal (kg); E = estatura (cm); I = idade (anos).

\* calculado pelos autores.

\*\* n não disponível.

\*\*\* calculado pelos autores a partir do R publicado.

<sup>1</sup> Para converter em kcal, multiplicar o resultado por 239.

em posição supina e em repouso muscular. Cada indivíduo era submetido a várias medições com duração de 15 minutos cada e com um intervalo de vinte minutos entre elas. O menor valor de TMB era selecionado para análise por acreditar-se que este representaria o metabolismo mais próximo do basal para o indivíduo. As equações desenvolvidas, uma para cada sexo, incluíram como variáveis independentes a massa corporal, a estatura e a idade.

Até hoje as equações de Harris & Benedict são utilizadas, principalmente, na prática clínica (Bursztein et al., 1989) para determinar os requerimentos energéticos de indivíduos com as mais diversas doenças. Entretanto, há vários estudos que demonstram que estas equações são inadequadas para estimar a TMB. O próprio Benedict, menos de dez anos após a publicação de suas pesquisas, já havia evidenciado que a equação de predição em mulheres geralmente fornecia uma estimativa superior ao valor medido e sugeriu que os valores estimados pela equação fossem reduzidos em 5% (Benedict, 1928). Mais recentemente, foi verificado que em um grupo de mulheres americanas a equação fornecia estimativas 14% superiores à TMB medida (Owen et al., 1986) enquanto que em homens a superestimativa ficou em torno de 9% (Clark & Hoffer, 1991; Owen et al., 1987).

Em 1985, Schofield compilou os dados de TMB disponíveis até então, com o objetivo de derivar equações de predição adequadas para uso internacional e que seriam recomendadas pelo Comitê da FAO/OMS para estimar as necessidades energéticas. Assim, Schofield (1985) juntou os dados de 114 estudos que foram considerados cientificamente adequados e sobre os quais existiam um mínimo de dados relevantes (idade, gênero, estatura e massa corporal). Apesar do rigor na seleção dos dados, o autor incluiu análises anteriormente realizadas em dados compilados, baseados em uma única avaliação e outros que eram a média de duas ou mais medidas, além de alguns poucos (1,4%) que eram o menor valor de TMB e outros sobre os quais não se tinha informações sobre o número de avaliações. Através deste procedimento foi obtida uma amostra final de 7.173 indivíduos (4.809 homens e 2.364 mulheres) em sua maioria de origem européia ou norte-americana (Henry & Rees, 1991). Schofield (1985) testou modelos de estimativa de TMB desenvolvidos em estudos anteriores e explorou a relativa contribuição potencial de diferentes variáveis independentes (estatura e massa corporal) e medidas complexas construídas a partir destas (área de superfície corporal) além das informações de idade e gênero. Essas variáveis foram

escolhidas por serem mais simples de se obter e por terem significado fisiológico e prático em termos de quantidade de variação de TMB estimada, além de gerarem equações com erros de estimativa menores. Na computação das equações finais o autor decidiu pelo uso de faixas etárias utilizadas previamente em outros estudos (0 a 3; 3 a 10; 10 a 18; 18 a 30; 30 a 60 e > 60 anos) que representassem períodos com significado clínico na vida humana (Tabela 1).

Schofield (1985) propôs um modelo de equação que utilizava somente a massa corporal, visto que a introdução de outras variáveis (estatura, área de superfície corporal) pouco melhoravam a estimativa da TMB, i.e., não aumentavam substancialmente o valor de  $R^2$ . Estas equações foram, posteriormente, adotadas pela OMS com uma pequena modificação, já que o banco de dados original de Schofield (1985) foi ampliado para 11.000 dados de TMB (FAO/WHO/UNU, 1985). Entretanto, há evidências de que as equações propostas pela OMS não sejam adequadas para estimar a TMB em indivíduos de diferentes partes do mundo (Cruz et al., 1999; Henry & Rees, 1991; McNeill et al., 1987; Piers & Shetty, 1993; Piers et al., 1997; Valencia et al., 1994; Wahrlich, 2000). Schofield (1985) em seu trabalho já apontava para esta possível inadequação, visto que na tentativa de validar suas equações, ele próprio verificou que quando elas foram aplicadas a uma amostra de indianos houve uma superestimativa da TMB em torno de 11,2% para os homens e 9,9% para as mulheres. Nesta análise, Schofield (1985) ressaltou que a TMB dos indivíduos de países em desenvolvimento (Índia e China) era menor em termos absolutos, assim como, por unidade de massa corporal quando comparada a de indivíduos europeus e norte-americanos.

Há evidências de que as equações da FAO/WHO/UNU (1985) superestimam, também, a TMB em pessoas que vivem em zonas temperadas (Clark e Hoffer, 1991; de Boer et al., 1988; Piers & Shetty, 1993; Soares et al., 1993). Uma análise detalhada do banco de dados utilizado por Schofield (1985) revela que a maioria dos indivíduos era italianos (50% da amostra) que apresentavam TMB maior do que os demais grupos, fato que pode ter introduzido vieses nas equações (Hayter & Henry, 1993). Além disso, pode ser que tenha se incorporado medidas realizadas sem considerar as condições básicas de jejum e repouso, resultando em valores mais elevados de TMB (Valencia et al., 1994).

As evidências de que a TMB era superestimada pela equação de Schofield (1985) principalmente em regiões tropicais, fizeram com

que Henry & Rees (1991) derivassem equações de predição para indivíduos residentes nos trópicos. Os dados foram obtidos a partir de estudos da TMB encontrados na literatura que preenchessem os seguintes critérios: a TMB deveria ter sido medida sob condições padrão de repouso e jejum em indivíduos saudáveis; o equipamento utilizado deveria ter sido descrito; e os dados de idade, gênero, massa corporal e estatura dos indivíduos tinham que estar disponíveis. Ao final da seleção, foram reunidos 2.822 dados de indivíduos de ambos os sexos, de diversas faixas etárias, provenientes de regiões tropicais como China, Japão, Malásia, Havai, América do Sul e outros. Foram derivadas, então, equações de regressão para 6 faixas etárias de cada sexo baseadas apenas na massa corporal. Apesar destas equações fornecerem estimativas menores do que as obtidas pelas de Schofield (1985) e da OMS (FAO/WHO/UNU, 1985) os valores por elas estimados parecem, ainda, superestimar a TMB em regiões tropicais como evidenciado em um grupo de sessenta indianas (4%; Piers & Shetty, 1993) e em cinquenta universitárias do Rio de Janeiro (7%; Cruz et al., 1999).

Uma análise de 16 estudos encontrados na literatura sobre a validação das equações de Schofield (1985) ou da FAO/WHO/UNU (1985) através da calorimetria indireta, indica que em sua maioria (dez estudos, Tabela 2) a TMB era superestimada pelas equações. Essa característica ocorreu tanto para grupos de indivíduos residentes em regiões tropicais quanto temperadas como América do Norte e Europa, sendo que para essas populações os estudos de validação são mais escassos. Os valores percentuais de superestimativa observados variaram entre 2,2 e 13,5%, sendo que em estudos que avaliaram ambos os sexos, as mulheres tenderam a ter valores percentuais de superestimativa menores quando comparados aos dos homens de mesma faixa etária. É importante frisar que esses são valores médios de superestimativa e, que, mesmo nestes estudos, as equações podem ser adequadas ou subestimarem a TMB em alguns indivíduos. Por exemplo, Anjos et al. (1998) encontraram superestimativa de TMB (média de 14%) em 80% das cinquenta mulheres jovens do Rio de Janeiro avaliadas e subestimativa (média de 7,4%) nas outras dez mulheres. Da mesma forma, Wahrlich (2000) concluiu que a TMB foi superestimada em 78% das sessenta mulheres residentes em Porto Alegre avaliadas e subestimativa nas restantes.

Os resultados dos outros seis estudos (Tabela 3) conduzidos em quase sua totalidade em mulheres, indicaram adequação e, até mesmo,

subestimativa da TMB pelas referidas equações. Foi observado que em mulheres africanas a equação da FAO/WHO/UNU (1985) subestimou a TMB entre 4 a 10%. Uma explicação plausível para tal fato seria decorrente de uma composição corporal distinta, pois as mulheres africanas, em comparação com as norte-americanas e européias, teriam uma menor proporção de tecido adiposo em relação à massa livre de gordura (Lawrence et al., 1988).

Por outro lado, dois estudos conduzidos na Colômbia e Índia são contraditórios aos achados para as populações vivendo nos trópicos. Spurr et al. (1994) evidenciaram que a equação de Schofield foi adequada para estimar a TMB em 21 mulheres colombianas. Os autores especulam que tal resultado poderia ser explicado pelo fato destas mulheres residirem em uma altitude moderada que anularia o efeito de viverem nos trópicos. O estudo conduzido em homens e mulheres indianos afirma que as equações FAO/WHO/UNU são apropriadas para estimar a TMB (Ferro-Luzzi et al., 1997) e sugere que as diferenças entre raça, clima, dieta ou estado nutricional parecem não modificar a TMB não invalidando, desta forma, o poder de predição das equações da FAO/WHO/UNU. Apesar da posição taxativa neste último estudo quanto às equações de predição da FAO/WHO/UNU, ainda são maiores as evidências de que elas não seriam adequadas para uso internacional.

## Conclusão

A TMB é fundamental para a determinação da necessidade energética de indivíduos e populações, além disso é aplicada em estudos epidemiológicos para validar as informações de ingestão alimentar e para se expressar o nível de atividade física. Geralmente, a TMB é estimada por equações de predição já que não existe grande disponibilidade de calorímetros indiretos. A maioria dos estudos de validação das equações de predição mostram uma inadequação das mesmas para a determinação da TMB em diferentes populações, apesar da tendência atual de se supor que não haja diferenças entre a TMB de diversas populações no mundo. As equações da FAO/WHO/UNU, indicadas para uso internacional, tendem a superestimar a TMB, principalmente em populações de regiões tropicais, fato que tem sido explicado pelo reconhecimento da inadequação do banco de dados usado na geração das equações, tornando sua utilização universal questionável. Sendo assim, permanece a necessida-

Tabela 2

Estudos que demonstram que as equações para predição da Taxa Metabólica Basal sugeridas por Schofield (S) e FAO/WHO/UNU, (F) superestimam os valores de TMB em populações residentes em regiões tropicais e temperadas.

Referência	n	Sexo	Idade (anos)	Superestimativa da TMB pelas equações Schofield (S) ou FAO/WHO/UNU (F)	Origem
McNeill et al. (1987)	58	M	= 31	12,1% (F) <sup>a</sup>	Índia
Soares & Shetty (1988)	123	M	18-30	9,3% (S) <sup>b</sup>	Índia
Clark & Hoffer (1991)	29	M	18-33	8,2% (S) <sup>c</sup>	Canadá
de Boer et al. (1988)	7	M	23-34	9,8% (F) <sup>b</sup>	Europa*
	8	M	27-40	8,8% (S) <sup>b</sup>	África*
	7	M	28-44	11,1% (F) <sup>b</sup>	Ásia (M)*
				9,8% (S) <sup>b</sup>	
				8,4% (F) <sup>b</sup>	Ásia (C)*
				6,9% (S) <sup>b</sup>	
				8,8% (F) <sup>b</sup>	
				8,4% (S) <sup>b</sup>	
Henry & Rees, (1991)	1.174	M	18-30	10,3% (F) <sup>a</sup>	Trópicos
	274	M	30-60	11,2% (F) <sup>a</sup>	
	350	F	18-30	3,8% (F) <sup>a</sup>	
	98	F	30-60	9,7% (F) <sup>a</sup>	
Piers & Shetty (1993)	60	F	18-30	9,2% (S) <sup>b</sup>	Índia
	52	F	18-30	4,1% (S) <sup>b</sup>	América do Norte/Europa
Valencia et al. (1994)	32	M	18-40	8,2% (F) <sup>d</sup>	México
Piers et al. (1997)	39	M	18-30	5,6% (S) <sup>d</sup>	Austrália
	89	F	18-30	2,2% (S) <sup>d</sup>	
Cruz et al. (1999)	50	F	19-27	12,5% (F) <sup>d</sup>	Brasil
Wahrlich (2000)	60	F	20-40	12,9% (S) <sup>d</sup>	Brasil
				13,5% (F) <sup>d</sup>	

\* TMB medida na Holanda, com dados de europeus da Holanda, da França e Asiáticos (M) = de origem Mongol (China, Samoa Oeste, Indonésia) Vietnã e (C) = de origem caucasiana (Sri Lanka e Bangladesh).  
 Cálculo do % da superestimativa da TMB: <sup>a</sup> não é mencionado; <sup>b</sup> (TMB estimada - TMB medida/TMB estimada) x 100;  
<sup>c</sup> 100 - [(TMB medida/TMB estimada) x 100]; <sup>d</sup> (TMB estimada - TMB medida/TMB medida) x 100.

Tabela 3

Estudos onde houve adequação ou subestimativa do valor da Taxa Metabólica Basal pelas equações de predição, sugeridas pela FAO/WHO/UNU em diversas populações.

Referência	n	Sexo	Idade (anos)	Subestimativa da TMB pelas equações Schofield (S) ou FAO/WHO/UNU (F)	Origem
Lawrence et al. (1988)	46	F	20-35	3,0% (F) <sup>1</sup>	Escócia
	47	F	20-35	10,0% (F) <sup>1</sup>	Gâmbia
Ferro-Luzzi et al. (1990)	22	F	= 36	7,0% (F) <sup>2</sup>	Etiópia
Schultink et al. (1990)	17	F	= 33	4,0% (F) <sup>1</sup>	República de Benin
Spurr et al. (1994)	21	F	20-42	0% (S) <sup>2</sup>	Colômbia
Ategbo et al. (1995)	34	F	= 31	4,0% (F) <sup>2</sup>	República de Benin
Ferro-Luzzi et al. (1997)	88	M	22-38	0% (F) <sup>2</sup>	Índia
	90	F	22-38	0% (F) <sup>2</sup>	

Cálculo do % da subestimativa da TMB: <sup>1</sup> [(TMB medida/TMB estimada) x 100] - 100. <sup>2</sup> não é mencionada forma de cálculo.

de da coleta de dados de TMB em diferentes grupos populacionais utilizando-se técnicas padronizadas de medição, incluindo estimativas da composição corporal, para que se possa, eventualmente, desenvolver equações a partir de um amplo banco de dados que seja construído com informações adequadas de TMB de várias partes do mundo.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao financiamento parcial do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo 301076/89-8), da Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (Processo 980466-7), do Fundo de Incentivo à Pesquisa e Eventos do Hospital de Clínicas de Porto Alegre (Processo 990026) e da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Processo E-26/150.005/2000).

## Referências

- ALMEIDA, A. O., 1919. Le métabolisme minimum et le métabolism basal de l'homme tropical de race blanche. *Journal de Physiologie et Pathologie Générale*, 18:713-729.
- ALMEIDA, A. O., 1920. Le métabolism basal de l'homme tropical. *Journal de Physiologie et Pathologie Générale*, 18:958-964.
- ALMEIDA, A. O., 1924. L'émission de chaleur le métabolisme basal et le métabolism minimum de l'homme noir tropical. *Journal de Physiologie et Pathologie Générale*, 22:12-18.
- ANJOS, L. A., 1999. Prevalência da inatividade física no Brasil. In: 2º Congresso Brasileiro de Atividade Física e Saúde, *Anais*, pp. 58-63. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- ANJOS, L. A.; BRAUN, F. L. C.; DAMIÃO, J. J. & SILVA, A. F., 1998. Basal metabolic rate cannot be estimated by current predictive equations in Brazilian college female students. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(Sup. 5):S263.
- ATEGBO, E. A. D.; VAN RAAIJ, J. M. A.; KONING, F. L. H. A. & HAUTVAST, J. G. A. J., 1995. Resting metabolic rate and work efficiency of rural Beninese women: A 2-y longitudinal study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61:466-472.
- BANDINI, L. G.; MORELLI, J. A.; MUST, A. & DIETZ, W. H., 1995. Accuracy of standardized equations for predicting metabolic rate in premenarcheal girls. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62: 711-714.
- BENEDICT, F. G., 1928. Basal metabolism data on normal men and women (series II) with some considerations on the use of prediction standards. *American Journal of Physiology*, 85:607-620.
- BENEDICT, F. G. & FINN, M. D., 1928. Normal menstruation and gaseous metabolism. *American Journal of Physiology*, 86:59-69.
- BERKE, E. M.; GARDNER, A. W.; GORAN, M. I. & POEHLMAN, E. T., 1992. Resting metabolic rate and the influence of pre-testing environment. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55:626-629.
- BISDEE, J. T.; JAMES, W. P. T. & SHAW, M. A., 1989. Changes in energy expenditure during the menstrual cycle. *British Journal of Nutrition*, 61:187-199.
- BINGHAM, S. A.; GOLDBERG, G. R.; COWARD, W. A.; PRENTICE, A. M. & CUMMINGS, J. H., 1989. The effect of exercise and improved physical fitness on basal metabolic rate. *British Journal of Nutrition*, 61:155-173.
- BLACK, A. E.; COWARD, W. A.; COLE, T. J. & PRENTICE, A. M., 1996. Human energy expenditure in affluent societies: An analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50:72-92.
- BLUNT, K. & DYE, M., 1921. Basal metabolism of normal women. *Journal of Biological Chemistry*, 47: 69-87.
- BOOTHY, W. M. & SANDIFORD, I., 1920. *Laboratory Manual of the Technique of Basal Metabolic Rate Determinations*. Philadelphia: W. B. Saunders.
- BRIEFEL, R. R.; McDOWELL, M. A.; ALAIMO, K.; CAUGHMAN, C. R.; BISCHOF, A. L.; CARROLL, M. D. & JOHNSON, C. L., 1995. Total energy intake of the US population: The third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988-1991. *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(Sup.):1072S-1080S.
- BRIEFEL, R. R.; SEMPOS, C. T.; McDOWELL, M. A.; CHIEN, S. & ALAIMO, K., 1997. Dietary methods research in the third National Health and Nutrition Examination Survey: Underreporting of energy intake. *American Journal of Clinical Nutrition*, 65(Sup.):1203S-1209S.

- BROEDER, C. E.; BURRHUS, K. A.; SVANEVIK, L. S. & WILMORE, J. H., 1992. The effects of either high-intensity resistance or endurance training on resting metabolic rate. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55:802-810.
- BROZEK, J. & GRANDE, F., 1955. Body composition and basal metabolism in man: Correlation analysis versus physiological approach. *Human Biology*, 27:22-32.
- BURKE, C. M.; BULLOUGH, R. C. & MELBY, C. L., 1993. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis by level of aerobic fitness in young women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47: 575-585.
- BURSZTEIN, S.; ELWYN, D. H.; ASKANAZI, J. & KINNEY, J. M., 1989. *Energy Metabolism, Indirect Calorimetry, and Nutrition*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- CENSI, L.; TOTI, E.; PASTORE, G. & FERRO-LUZZI, A., 1998. The basal metabolic rate and energy cost of standardized walking of short and tall men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 52:441-446.
- CERVATO, A. M.; MAZZILLI, R. N.; MARTINS, I. A. & MARUCCI, M. F. N., 1997. Dieta habitual e fatores de risco para doenças cardiovasculares. *Revista de Saúde Pública*, 31:227-235.
- CLARK, H. D. & HOFFER, L. J., 1991. Reappraisal of the resting metabolic rate of normal young men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53:21-26.
- CRUZ, C. M.; SILVA, A. F. & ANJOS, L. A., 1999. A taxa metabólica basal é superestimada pelas equações preditivas em universitárias do Rio de Janeiro, Brasil. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 49:232-237.
- CUNNINGHAM, J. J., 1982. Body composition and resting metabolic rate: The myth of feminine metabolism. *American Journal of Clinical Nutrition*, 36:721-726.
- CURTIS, V.; HENRY, C. J. K. & CHOUERI, A. G., 1996. Basal metabolic rate of women on the contraceptive pill. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50:319-322.
- DALLOSO, H. M. & JAMES, W. P. T., 1984. The role of smoking in the regulation of energy balance. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 8:365-375.
- DAUNCEY, M. J., 1981. Influence of mild cold on 24 h energy expenditure, resting metabolism and diet-induced thermogenesis. *British Journal of Nutrition*, 45:257-267.
- DIFFEY, B.; PIERS, L. S.; SOARES, M. J. & O'DEA, K., 1997. The effect of oral contraceptive agents on basal metabolic rate of young women. *British Journal of Nutrition*, 77:853-862.
- DE BOER, J. O.; VAN ES, A. J. H.; VOORRIPS, L. E.; BLOKSTRA, F. & VOGT, J. E., 1988. Energy metabolism and requirements in different ethnic groups. *European Journal of Clinical Nutrition*, 42:983-997.
- DU BOIS, E. F., 1936. *Basal Metabolism in Health and Disease*. 3<sup>rd</sup> Ed. Philadelphia: Lea & Febiger.
- DURNIN, J. V. G. A. & PASSMORE, R., 1967. *Energy, Work, and Leisure*. 1<sup>st</sup> Ed. London: Heinemann Educational Books.
- ELLIS, K. J., 1996. Whole body counting and neutron activation analysis. In: *Human Body Composition* (A. F. Roche, S. B. Heymsfield & T. G. Lohman, ed.), pp. 45-61, Champaign: Human Kinetics Books.
- FAO (Food and Agriculture Organization)/WHO (World Health Organization)/UNU (United Nations University), 1985. *Energy and Protein Requirements*. WHO Technical Report Series 724, Geneva: WHO.
- FERRANNINI, E., 1988. The theoretical bases of indirect calorimetry: A review. *Metabolism*, 37:287-301.
- FERRO-LUZZI, A.; PETRACCHI, C.; KURIYAN, R. & KURPAD, A. V., 1997. Basal metabolism of weight-stable chronically undernourished men and women: Lack of metabolic adaptation and ethnic differences. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66:1086-1093.
- FERRO-LUZZI, A.; SCACCINI, C.; TAFFESE, S.; ABERRA, B. & DEMEKE, T., 1990. Seasonal energy deficiency in Ethiopian rural women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44(Sup. 1):7-18.
- FIGUEROA-COLON, R.; FRANKLIN, F. A.; GORAN, M. I.; LEE, J. Y. & WEINSIER, R. L., 1996. Reproducibility of measurement of resting energy expenditure in prepubertal girls. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64:533-536.
- GALVÃO, P. E., 1948. Human heat production in relation to body weight and body surface. I. Inapplicability of the surface law on lean men of tropical zone. *Journal of Applied Physiology*, 1:385-394.
- GARROW, J. S., 1974. *Energy Balance and Obesity in Man*. Amsterdam: North-Holland.
- GOLDBERG, G. R.; PRENTICE, A. M.; DAVIES, H. L. & MURGATROYD, P. R., 1990. Residual effect of graded levels of exercise on metabolic rate. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44:99-105.
- GREEN, J. H., 1994. Assessment of energy requirements. In: *Consensus in Clinical Nutrition*. (R. V. Heatley, J. H. Green & M. S. Losowsky, ed.), pp. 22-37, Cambridge: Cambridge University Press.
- HAGGARTY, P.; McNEILL, G., ABU MANNEH, M. K.; DAVIDSON, L.; MILNE, E.; DUNCAN, G. & ASHTON, J., 1994. The influence of exercise on the energy requirements of adult males in the UK. *British Journal of Nutrition*, 72:799-813.
- HARRIS, J. A. & BENEDICT, F. G., 1919. *A Biometric Study of Basal Metabolism in Man*. Boston: Carnegie Institution of Washington.
- HAYTER, J. E. & HENRY, C. J. K., 1993. Basal metabolic rate in human subjects migrating between tropical and temperate regions: A longitudinal study and a review of previous work. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47:724-734.
- HEINI, A. F.; MINGHELLI, G.; DIAZ, E.; PRENTICE, A. M. & SCHUTZ, Y., 1996. Free-living energy expenditure assessed by two different methods in rural Gambian men. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50:284-289.
- HENRY, C. J. K. & EMERY, B., 1986. Effect of spiced food on metabolic rate. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 40C:165-168.
- HENRY, C. J. K. & REES, D. G., 1991. New predictive equations for the estimation of basal metabolic rate in tropical peoples. *European Journal of Clinical Nutrition*, 45:177-185.
- HITCHCOCK, F. A. & WARDWELL, F. R., 1929. Cyclic variations in the basal metabolic rate of women. *Journal of Nutrition*, 2:203-215.

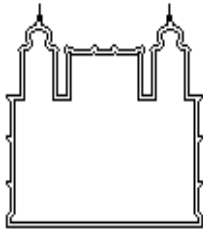
- JAMES, W. P. T. & SCHOFIELD, E., 1990. *Human Energy Requirements. A Manual for Planners and Nutritionists*. Oxford: Oxford University Press.
- KENDRICK, Z. V.; McPEEK, C. K. & YOUNG, K. F., 1990. Prediction of the resting energy expenditure of women following 12 to 18 weeks of very-low-calorie dieting. *Annals of Sports Medicine*, 5:118-123.
- KING, J. T., 1924. *Basal Metabolism: Determination of the Metabolic Rate in the Practice of Medicine*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- LAWRENCE, M.; THONGPRASERT, K. & DURIN, J. V. G. A., 1988. Between-group differences in basal metabolic rate: An analysis of data collected in Scotland, the Gambia and Thailand. *European Journal of Clinical Nutrition*, 42:877-891.
- LUSK, G., 1917. *The Elements of the Science of Nutrition*. 3rd Ed. Philadelphia: W. B. Saunders.
- MacDIARMID, J. I. & BLUNDELL, J. E., 1997. Dietary under-reporting: What people say about recording their food intake. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51:199-200.
- McHENRY, E. W. & BEATON, G. H., 1963. *Basic Nutrition*. Philadelphia: J. B. Lipincott.
- McNEILL, G.; RIVERS, J. P. W.; PAYNE, P. R.; DE BRITTO, J. J. & ABEL, R., 1987. Basal metabolic rate of Indian men: No evidence of metabolic adaptation to a low plane of nutrition. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 41C:473-483.
- MARTINS, I. A.; COELHO, L. T.; MAZZILLI, R. N.; SINGER, J. M.; SOUZA, C. U.; ANTONIETO Jr., A. E.; PASINI, U.; NIETO, R. A.; ÁLVARES, E. D. & OKANI, E. T., 1993. Doenças cardiovasculares ateroscleróticas, dislipidemias, hipertensão, obesidade e diabetes melito em população da área metropolitana da região sudeste do Brasil. I - Metodologia da pesquisa. *Revista de Saúde Pública*, 27:250-261.
- MURGATROYD, P. R.; SHETTY, P. S. & PRENTICE, A. M., 1993. Techniques for the measurement of human energy expenditure: A practical guide. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 17:549-568.
- OWEN, O. E.; KAVLE, E.; OWEN, R. S.; POLANSKY, M.; CAPRIO, S.; MOZZOLI, M. A.; KENDRICK, Z. V.; BUSHMAN, M. C. & BODEN, G., 1986. A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44:1-19.
- OWEN, O. E.; HOLUP, J. L.; D'ALESSIO, D. A.; CRAIG, E. S.; POLANSKY, M.; SMALLEY, K. J.; KAVLE, E. C.; BUSHMAN, M. C.; OWEN, L. R.; MOZZOLI, M. A.; KENDRICK, Z. V. & BODEN, G. H., 1987. A reappraisal of caloric requirements in healthy men. *American Journal of Clinical Nutrition*, 46:875-885.
- PERKINS, K. A.; EPSTEIN, L. H.; STILLER, R. L.; MARKS, B. L. & JACOB, R. G., 1989. Acute effects of nicotine on resting metabolic rate in cigarette smokers. *American Journal of Clinical Nutrition*, 50:545-550.
- PIERS, L. S. & SHETTY, P. S., 1993. Basal metabolic rates of Indian women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47:586-591.
- PIERS, L. S.; SOARES, M. J.; McCORMACK, L. M. & O'DEA, K., 1998. Is there evidence for an age-related reduction in metabolic rate? *Journal of Applied Physiology*, 85:2196-2204.
- PIERS, L. S.; DIGGAVI, S. N.; RIJSEKAMP, J.; VAN RAAIJ, J. M. A.; SHETTY, P. S. & HAUTVAST, J. G. A. J., 1995. Resting metabolic rate and thermic effect of meal in the follicular and luteal phases of the menstrual cycle in well-nourished Indian women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 61:296-302.
- PIERS, L. S.; DIFFEY, B.; SOARES, M. J.; FRANDSEN, S. L.; McCORMACK, L. M.; LUTSCHINI, M.; J. & O'DEA, K., 1997. The validity of predicting the basal metabolic rate of young Australian men and women. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51:333-337.
- POEHLMAN, E. T.; MELBY, C. L. & BADYLAK, S. F., 1988a. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in highly trained and untrained males. *American Journal of Clinical Nutrition*, 47:793-798.
- POEHLMAN, E. T.; ARCIERO, P. J.; MELBY, C. L. & BADYLAK, S. F., 1988b. Resting metabolic rate and postprandial thermogenesis in vegetarians and nonvegetarians. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48:209-213.
- PRENTICE, A. M.; BLACK, A. E.; COWARD, W. A. & COLE, T. J., 1996. Energy expenditure in overweight and obese adults in affluent societies: An analysis of 319 doubly-labelled water measurements. *European Journal of Clinical Nutrition*, 50:93-97.
- RAVUSSIN, E.; BURNAND, B.; SCHUTZ, Y. & JÉQUIER, E., 1982. Twenty-four-hour energy expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 35:566-573.
- REGO, R. A.; BERARDO, F. A. N.; RODRIGUES, S. S. R.; OLIVEIRA, Z. M. A.; OLIVEIRA, M. B.; VASCONCELLOS, C.; AVENTURATO, L. V. O.; MONCAU, J. E. C. & RAMOS, L. R., 1990. Fatores de risco para doenças crônicas não-transmissíveis: Inquérito domiciliar no município de São Paulo, SP (Brasil). Metodologia e resultados preliminares. *Revista de Saúde Pública*, 24:277-285.
- SCHOELLER, D. A., 1999. Recent advances from application of doubly labeled water to measurement of human energy expenditure. *Journal of Nutrition*, 129:1765-1768.
- SCHOFIELD, W. N., 1985. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Human Nutrition: Clinical Nutrition*, 39(Sup. 1): 5-41.
- SCHULTINK, W. J.; KLAVER, W.; VAN WIJK, H.; VAN RAAIJ, J. M. A. & HAUTVAST, J. G. A. J., 1990. Body weight changes and basal metabolic rates of rural Beninese women during seasons with different energy intakes. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44(Sup. 1):31-40.
- SEALE, J. L. & RUMPLER, W. V., 1997. Comparison of energy expenditure measurements by diet records, energy intake, doubly labeled water and room calorimetry. *European Journal of Clinical Nutrition*, 51:856-863.
- SEDLOCK, D. A.; FISSINGER, J. A. & MELBY, C. L., 1989. Effect of exercise intensity and duration on postexercise energy expenditure. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21:662-666.
- SHEPARD, R. J., 1991. *Body Composition in Biologi-*

- cal Anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- SHETTY, P. S.; HENRY, C. J. K.; BLACK, A. E. & PRENTICE, A. M., 1996. Energy requirements of adults: An update on basal metabolic rates (BMRs) and physical activity levels (PALs). *European Journal of Clinical Nutrition*, 50(Sup. 1):S11-S23.
- SNELL, A. M.; FORD, F. & ROWNTREE, L. G., 1920. Studies in basal metabolism. *Journal of the American Medical Association*, 75:515-523.
- SOARES, M. J.; FRANCIS, D. G. & SHETTY, P. S., 1993. Predictive equations for basal metabolic rates of Indian males. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47:389-394.
- SOARES, M. J.; SEQUEIRA, J. & SHETTY, P. S., 1988. The effect of the preceding day's protein intake on basal metabolic rates in young adults. *British Journal of Nutrition*, 60:425-431.
- SOARES, M. J. & SHETTY, P. S., 1988. Validity of Schofield's predictive equations for basal metabolic rates in Indians. *Indian Journal of Medical Research*, 88:253-260.
- SOLOMON, S. J.; KURZER, M. S. & CALLOWAY, S. H., 1982. Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 36:611-616.
- SPURR, G. B.; DUFOUR, D. L.; REINA, J. C.; HOFFMANN, R. G.; WASLIEN, C. I. & STATEN, L. K., 1994. Variation of the basal metabolic rate and dietary energy intake of Colombian women during 1 y. *American Journal of Clinical Nutrition*, 59:20-27.
- TAI, M. M.; CASTILLO, P. F. & SUNYER, F. X. P., 1997. Thermic effect of food during each phase of the menstrual cycle. *American Journal of Clinical Nutrition*, 66:1110-1115.
- TAYLOR, M. C.; MacLEOD, G. & ROSE, M. S., 1956. *Foundations of Nutrition*. 5<sup>th</sup> Ed. New York: Macmillan Company.
- TURLEY, K. R.; McBRIDE, P. J. & WILMORE, J. H., 1993. Resting metabolic rate measured after subjects spent the night at home vs. at a clinic. *American Journal of Clinical Nutrition*, 58:141-144.
- TZANKOFF, S. P. & NORRIS, A. H., 1977. Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 43:1001-1006.
- TZANKOFF, S. P. & NORRIS, A. H., 1978. Longitudinal changes in basal metabolism in man. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, 45:536-539.
- VALENCIA, M. E.; MOYA, S. Y.; McNEILL, G. & HARGETY, P., 1994. Basal metabolic rate and body fatness of adult men in northern Mexico. *European Journal of Clinical Nutrition*, 48:205-211.
- VINKEN, A. G.; BATHALON, G. P.; SAWAYA, A. L.; DALLAL, G. E.; TUCKER, K. L. & ROBERTS, S. B., 1999. Equations for predicting the energy requirements of healthy adults aged 18-81 years. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69:920-926.
- WACK, J. T. & RODIN, J., 1982. Smoking and its effects on body weight and the systems of caloric regulation. *American Journal of Clinical Nutrition*, 35:366-380.
- WAHRLICH, V., 2000. *Taxa Metabólica Basal em Mulheres Residentes em Porto Alegre, Rio Grande do Sul*. Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro: Instituto de Nutrição, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- WAHRLICH, V. & ANJOS, L. A., 2000. Basal metabolic rate of young women living in tropical and temperate regions of Brazil. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(Sup. 5):S172.
- WARWICK, P. M. & BUSBY, R., 1993. Prediction of twenty-four-hour energy expenditure in a respiration chamber in smokers and non-smokers. *European Journal of Clinical Nutrition*, 47:600-603.
- WARWICK, P. M.; EDMUNDSON, H. M. & THOMPSON, E. S., 1995. No evidence for a chronic effect of smoking on energy expenditure. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 19:198-201.
- WEBB, P., 1985. *Human Calorimeters*. New York: Praeger Scientific.
- WEIR, J. B., 1949. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *Journal of Physiology*, 109:1-9.
- WESTRATE, J. A.; WEYS, P.; POORTVLIET, E.; DEURENBERG, P. & HAUTVAST, J. G. A. J., 1990. Lack of a systematic sustained effect of prolonged exercise bouts on resting metabolic rate in fasting subjects. *European Journal of Clinical Nutrition*, 44:91-97.
- WILMORE, J. H.; STANFORTH, P. R.; HUDSPETH, L. A.; GAGNON, J.; DAW, E. W.; LEON, A. S.; RAO, D. C.; SKINNER, J. S. & BOUCHARD, C., 1998. Alterations in resting metabolic rate as a consequence of 20 wk of endurance training: The Heritage Family Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 68:66-71.
- WILTSHIRE, M. O. P., 1921. Some observations on basal metabolism in menstruation. *Lancet*, 2:388-389.



## **Anexo 2**

### **Aprovação da pesquisa no Comitê de Ética da Fiocruz**



Ministério da Saúde  
Comitê de Ética em Pesquisa  
Fundação Oswaldo Cruz



**Parecer Nº: 08/2002 - PAPES III**

Rio de Janeiro, 13 de março de 2002

**Título do Projeto:** Gasto energético e nível de atividade física em amostra populacional de Niterói, Rio de Janeiro

**Pesquisador Responsável:** Luiz Antonio dos Anjos

**Instituição onde se realizará:** CESTEH / FIOCRUZ

**Data de recebimento no CEP-ENSP:** 27/02/2002

### **Objetivos do projeto**

Medir a taxa metabólica basal (TMB), estimar o gasto energético diário, avaliar o estado nutricional e descrever o padrão de atividade física de uma amostra de adultos da cidade de Niterói. Testar diferentes métodos de estimativa da atividade física.

### **Sumário do projeto**

**Descrição geral:** selecionar uma amostra de adultos de Niterói, entrevistá-los por meio de questionário e levá-los ao Laboratório de Avaliação Física para medição da TMB, obtenção de medidas corporais e determinação de sua curva de calibração (associação entre frequência cardíaca e gasto energético).

**Descrição e caracterização da amostra:** adultos (20 anos ou mais) residentes em Niterói, definidos por meio de amostra probabilística selecionada em dois estágios (setores e domicílios).

**Critérios de inclusão e exclusão:** excluem-se adultos com diabetes, hipertensão, doenças cardíacas e disfunção da tireoidiana, os demais adultos (20 anos ou mais) poderão ser incluídos na amostra em função dos critérios da seleção probabilística a ser realizada.

**Adequação da metodologia:** metodologia adequada pois todos os métodos propostos figuram entre os considerados válidos nos meios científicos internacionais, sendo a eliminação do método da água duplamente marcada justificada por seu elevado custo.

**Adequação das condições de realização:** condições aparentemente favoráveis.

## Elementos da Folha de Rosto da CONEP

Assinatura do(s) responsável(is) da(s) Instituição(ões) onde se realizará a pesquisa: sim

Observações sobre o preenchimento dos demais campos: não há observações.

### Comentários do relator, frente à Resolução nº 196/96 e complementares em particular sobre:

Estrutura do protocolo: bem estruturado; define a metodologia de medição com clareza; previne possíveis riscos para os informantes; define claramente a utilização da informação e assegura o respeito à privacidade dos informantes.

Justificativa de uso do placebo: não se aplica.

Justificativa da suspensão terapêutica ("Wash-out"): não se aplica.

Análise dos riscos: os riscos são mínimos, pois foram excluídas as pessoas que poderiam Ter seu risco aumentado, e é assegurado um procedimento adequado para eventuais emergências (acompanhamento médico integral e acesso a um hospital).

Retorno de benefícios para o sujeito

e/ou para a comunidade: retorno direto ao sujeito é sua avaliação nutricional e o indireto decorre do uso, para fins científicos, da informação obtida.

Adequação do termo de consentimento: conteúdo adequado.

Forma de obtenção do consentimento: adequada.

Informação adequada quanto ao financiamento: financiamento PAPES.

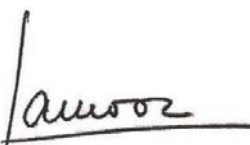
Outros centros, no caso de estudos multicêntricos: não se aplica.

Outros comentários: não há comentários adicionais.

Deverá ser encaminhado à CONEP (áreas temáticas especiais) e, portanto, deverá aguardar a apreciação final desta para início da execução?  Sim  Não

**Parecer do CEP: Aprovado**

Atenciosamente,

  
PROF. FERMI ROLANDO SCHRAMM  
Coordenador do Comitê de  
Ética em Pesquisa  
ENSP/FIOCRUZ

## **Anexo 3**

### **Aprovação do artigo 2 no Clinical Nutrition**

**Data:** Wed, 04 Jan 2006 17:34:25 -0000

**De:** "[Clinical Nutrition](#)" <[espenjournals@ah.unimaas.nl](mailto:espenjournals@ah.unimaas.nl)>

**Para:** <[anjos@ensp.fiocruz.br](mailto:anjos@ensp.fiocruz.br)>

**Assunto:** Accepting your submission YCLNU-D-05-00195R1 

MS. Ref. No.: YCLNU-D-05-00195R1

Title: Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate

Clinical Nutrition

Dear Dr. Anjos,

I am pleased to inform you that the revised version of your Full Length Article entitled "Validation of the VO2000 calorimeter for measuring resting metabolic rate" has been accepted for publication in Clinical Nutrition. Your paper has been sent to the publisher and in due time you will receive the galley proofs for correction.

Thank you very much for sending your article to our journal. I hope that you will continue to submit your scientific work to Clinical Nutrition in the future.

Receive my warmest congratulations.

Yours sincerely,

Miquel A. Gassull  
Co-Editor-in-Chief  
Clinical Nutrition