



Fitness & Performance Journal

ISSN: 1519-9088

editor@cobrase.org.br

Instituto Crescer com Meta

Brasil

Marchini, Julio Sergio; Fett, Carlos Alexandre; Rezende Fett, Waléria Christiane; Marques Miguel  
Suen, Vivian

Calorimetria: aplicações práticas e considerações críticas

Fitness & Performance Journal, vol. 4, núm. 2, marzo-abril, 2005, pp. 90-96

Instituto Crescer com Meta

Río de Janeiro, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75117082003>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Calorimetria: aplicações práticas e considerações críticas

Artigo Original

**Julio Sergio Marchini (CRM: 28955/SP)**

Laboratório de Espectrometria de Massa, Divisão de Nutrologia do Departamento de Clínica Médica da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo  
jsmarchi@fmrp.usp.br

**Carlos Alexandre Fett (CREF: 329/MT)**

Faculdade de Educação Física da Universidade Federal de Mato Grosso  
cafett@hotmail.com

**Waléria Christiane Rezende Fett (CREF: 113G/MT)**

Laboratório de Espectrometria de Massa, Divisão de Nutrologia do Departamento de Clínica Médica da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo  
wcrfett@hotmail.com

**Vivian Marques Miguel Suen (CRM: 62470/SP)**

Laboratório de Espectrometria de Massa, Divisão de Nutrologia do Departamento de Clínica Médica da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo  
viviansuen@terra.com.br

MARCHINI, J.S.; FETT, C.A.; FETT, W.C.; SUEN, V.M.M. Calorimetria: aplicações práticas e considerações críticas. *Fitness & Performance Journal*, v.4, n. 2, p. 90-96, 2005

**RESUMO:** O propósito desta revisão é analisar de forma crítica as aplicações da calorimetria na orientação dietética e de atividade física para sedentários e atletas. Segundo a termodinâmica, a energia não pode ser criada nem destruída, mas sim transformada; o calor produzido pelo corpo pode ser utilizado para medir o gasto energético individual. Essa produção térmica corresponde à energia oxidada pelos processos biológicos (digestão, absorção e metabolismo dos nutrientes) e ao custo calórico de uma determinada atividade física. Como cada nutriente tem quantidades específicas de consumo de  $O_2$  e produção de  $CO_2$ , pode-se utilizar a medida da concentração destes gases mais o volume expiratório, para estimar, indiretamente, o consumo de energia de uma determinada situação. As aplicações práticas destas medidas estão relacionadas ao ajuste dietético adequado para cada situação e mensuração do gasto energético de atividades específicas. A combinação destas duas variáveis permite que se ajuste, por exemplo, uma dieta hipocalórica para um obeso em programa de redução de peso, ou uma dieta isocalórica para um atleta de alto rendimento, evitando o excesso alimentar. Toda vez que ocorre lipogênese por excesso de consumo calórico, há maior produção e eliminação de  $CO_2$  fazendo com que o quociente respiratório ultrapasse 1. As implicações desta relação para o indivíduo obeso e para o atleta de alto nível ainda não estão claras e devem ser motivo de futuros estudos.

**Palavras-chave:** gasto energético, quociente respiratório, atleta, obeso.

**Endereço para correspondência:** JS Marchini – Laboratório de espectrometria de Massa, Divisão de Nutrologia do Departamento de Clínica Médica da Escola de Medicina da Universidade de São Paulo, Av. bandeirantes, 3900, Ribeirão Preto, SP, Brasil CEP 14049-900

**Data de Recebimento:** novembro / 2004

**Data de Aprovação:** janeiro / 2005

Copyright© 2008 por Colégio Brasileiro de Atividade Física, Saúde e Esporte.

## ABSTRACT

### Calorimetry: practical applications and critic considerations

The purpose of this revision is to analyze the application of calorimetry in dietetic guidance and physical activity of sedentary and athletes. As demonstrated by the laws of thermodynamics, the energy cannot be created neither destroyed, but transformed. So, the heat produced by the body can be used to measure the individual energy expenditure. That thermal output, corresponds to the energy oxidized by the basal food metabolism (digestion and absorption) and to the calorie cost of a particular physical activity. As each nutrient has a specific quantity of O<sub>2</sub> consumption And co<sub>2</sub> output, becomes possible (by gas concentration and respiratory volume) to indirectly estimate the consumption of energy of a determined situation. The practical application of these measures has to be related to a diet for each situation just as the measurement of the energy expenditure of specific 3 activities. The combination of these two adjustable variables permits the creation of hypocaloric diets for an obese in a weight reduction program, or a Isocaloric diet for an athlete of high performance, who has to avoid the excess food.

**Keywords:** energy expenditure, respiratory quotient, athlete, obese.

## RESUMEN

### Calorimetría: las consideraciones prácticas de la aplicación y críticos

El propósito de esta revisión es establecer un estudio crítico sobre la aplicación de la calorimetría en la orientación dietética y de la actividad física del sedentario y los deportistas. Como demuestra la termodinámica, la energía no se puede crear tampoco destruirla, pero sí transformarla. El calor producido por el cuerpo se puede utilizar para medir el gasto individual de energía. Esa producción térmica, corresponde la oxidación de energía por el ensayo biológico (la digestión, la absorción y metabolismo de los alimentos nutritivos) y el gasto calórico de una actividad física determinada. Como cada nutriente tiene las cantidades específicas del consumo de O<sub>2</sub> y la producción de CO<sub>2</sub>, es posible ser utilizado en proporción a la concentración de estos gases más el volumen espiratorio, para se estimar el consumo de energía de una situación determinada. La aplicación práctica de estas medidas, se relaciona sobre el ajuste de una dieta para cada situación y la medida del gasto de energía de actividades específicas. La combinación de estas dos variables permite que eso sea ajustado, por ejemplo, una dieta hipocalórica para un obeso durante un programa de reducción del peso, o en una dieta de isocalórica para un deportista de alto nivel, evitando una alimentación en exceso. Todo vez que ocurre lipogénesis, por exceso de consumo calórico, hay una mayor producción e eliminación de CO<sub>2</sub> con que el cociente respiratorio supera 1. Cual a la implicación de esta relación para el individuo obeso y el deportista de nivel alto todavía no está claro y debe ser investigado por estudios futuros.

**Palabras-clave:** gasto de energía, cociente respiratorio, deportista, obeso.

## INTRODUÇÃO

Define-se termogênese como a energia gasta pela realização de trabalho ou produção de calor celular. A termogênese adaptativa, ou a produção regular de calor é influenciada por temperatura ambiente e dieta. A termogênese pode ser alterada por vários mecanismos, como dieta, atividade física, recursos ergogênicos, exposição ao frio e drogas simpatomiméticas (LOWELL e SPIEGELMAN, 2000).

Organismos vivos estão submetidos às leis da física e, neste sentido, os animais obedecem à lei da termodinâmica. O equilíbrio termodinâmico é aplicado para o metabolismo nos organismos vivos, então, a energia não pode ser criada ou destruída; pode somente ser trocada entre o organismo e o meio ambiente (primeiro princípio da termodinâmica). O segundo princípio atesta que qualquer mudança no conteúdo total de energia de um sistema resulta em mudança na energia livre e na entropia (grau em que o total de energia de um sistema é uniformemente distribuído ao acaso) e, portanto, fica indisponível para realizar o trabalho do sistema (FERRANNINI, 1988).

Deste modo, somente pode haver acúmulo de gordura corporal, quando o consumo excede o gasto e o contrário é verdadeiro. Em termos energéticos, a quantidade de gordura estocada no organismo humano é impressionante. Indivíduos magros contêm energia armazenada em forma de gordura para aproximadamente 2-3 meses, enquanto obesos podem conter suprimento para anos (LEVINE, 2004). Estudo utilizando tomografia computadorizada demonstrou que, do desnutrido ao obeso, existe considerável depósito subcutâneo de gordura (JORDÃO Jr., 2004).

A calorimetria é um método que permite estudar os componentes energéticos do organismo, incluindo alimentação e exercício. Para tanto, é importante definir os componentes envolvidos

no balanço energético. São três os principais componentes do consumo energético diário (Figura 1): a taxa metabólica basal (TMB), o efeito térmico do alimento (ETA) e a termogênese da atividade física (TAF). Existem outros pequenos componentes do gasto energético, como o custo calórico dos medicamentos e das emoções (LEVINE, 2004), os quais, porém, contribuem pouco para o total e não serão considerados aqui.

A TMB é a energia despendida quando um indivíduo está em posição supina em completo repouso, pela manhã, depois de dormir, e em estado pós-absortivo. Em indivíduos com ocupações sedentárias, a TMB conta por ~ 60% do total da energia diária gasta. Três quartos da variabilidade da TMB entre as espécies pode ser predita pela massa magra (DERIAZ et al., 1992), que tem demonstrado ter correlação com a TMB (BERNSTEIN et al., 1983; RAVUSSIN et al., 1982; RAVUSSIN et al., 1985; SEGAL et al., 1987). A taxa metabólica de repouso (TMR), é a energia gasta em repouso completo em qualquer hora do dia e, em geral, é 10% superior à TMB (LEVINE, 2004).

O ETA é o aumento do gasto energético associado com a digestão, absorção e armazenamento dos alimentos e fica em torno de 10-15% do gasto energético diário (LEVINE, 2004). A seleção dos macronutrientes parece influenciar o efeito térmico dos alimentos (ETA). As proteínas consomem 20% do seu total calórico para serem metabolizadas, os carboidratos, 6-8% e as gorduras, 2-3% (DYCK, 2000; JÉQUIER, 2001). Entretanto, parece que indivíduos obesos não apresentam diferentes ETAs para os macronutrientes (SUEN et al., 2003). Também, a suplementação de fontes não específicas de nitrogênio, ou aminoácidos não afetam a oxidação da leucina, nem as taxas de hidroxilação da fenilalanina, nem o balanço total do corpo em termos de leucina e fenilalanina em homens (HIRAMATSU et al., 1994).

A atividade física é outro importante fator influenciador da termogênese e pode ser separada em dois componentes: termogênese do exercício físico (TEF) e a termogênese sem exercício físico (TsemEF) (Figura 1). Para melhor entender, a primeira é a consequência de uma atividade formal ou informal, como correr ou lavar o carro, por exemplo. Já a segunda, contabiliza o gasto energético adicional para atividades da vida diária, como vestir-se, tomar banho e deslocamentos no trabalho, não considerando um trabalho braçal, que cairia na primeira categoria. A atividade física tem demonstrado o poder de aumentar a TMB, fato reportado pela primeira vez por BENEDICT e CATHCART (1913).

Estimativa dos componentes do gasto energético diário de um adulto sedentário. TMB: taxa metabólica basal; ETA: efeito térmico dos alimentos; TsemEF: termogênese sem exercício físico. Adaptado de LEVINE, 2004.

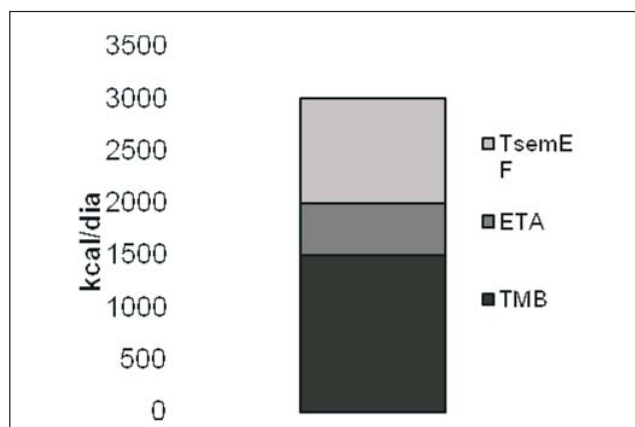
Portanto, seja para restrição calórica no controle de indivíduos obesos, ou para o suporte energético do anabolismo muscular de um , medir a TMB ou a TMR e estimar o gasto adicional do ETA e da TEF torna-se importante, a fim de estipular a necessidade de ingestão energética.

## Formas de medir a termogênese

### Direta

A primeira lei da termodinâmica determina que, quando a energia mecânica é transformada em energia térmica ou a energia térmica em energia mecânica, a relação das duas energias é uma quantidade constante (princípio da conservação de energia). Portanto, é indiscutível que o dispêndio de uma quantidade fixa de energia resultará sempre na produção da mesma quantidade de calor. Baseado neste conceito, pode-se deduzir que a energia produzida pelos alimentos ou gasta em uma atividade física é igual ao calor produzido pelo corpo. Esta quantidade de calor pode ser mensurada de forma direta, através de uma câmara do tamanho de um pequeno quarto, em que os gases são analisados para determinar, indiretamente, o metabolismo dos alimentos e, diretamente, a dissipação de calor (evaporação, radiação, condução, e convecção) pelo aumento da temperatura da água circundante à câmara (FERRANNINI, 1988). Cada aumento de 1 grau Celsius por quilograma de água, equivale a 1 kcal de energia. O termo bomba calorímetra, utilizado para a câmara, provém do formato da câmara (bomba) associado a calorímetro, que significa “medição de calor” (Figura 2) (FOX & MATHEWS, 1986).

**Figura 1 – Gasto energético diário de adulto sedentário**



1986). O indivíduo deve ficar dentro da câmara o tempo que durar a coleta de dados, o que pode durar horas e até dias; todavia, ele poderá executar diversas atividades nesse período, incluindo protocolos de atividade física. Não é um método que se possa utilizar em ‘campo’, além de ser complexo e caro.

### Indireta

A calorimetria indireta, ou medida metabólica da conversão da energia livre, foi desenvolvida na virada do século XIX para o XX, como uma aplicação da termodinâmica para vida animal. É baseada no conhecimento da combustão do substrato energético ingerido e necessário pelo organismo. Os diferentes tipos de nutrientes têm quantidades específicas de O<sub>2</sub> consumido e CO<sub>2</sub> produzido (Tabela 1). Portanto, a calorimetria indireta usa o volume de ar expirado, a porcentagem de oxigênio consumido, a porcentagem de gás carbônico produzido e a quantidade de nitrogênio protéico eliminado na urina no mesmo período de tempo (FERRANNINI, 1988); o cálculo destes valores permite o conhecimento do fornecimento calórico dos nutrientes e a participação deles no processo de oxidação (Tabela 2). Muitos autores consideram a quantidade de nitrogênio da urina desprezível para o cálculo, como a fórmula de WEIR (1949), abaixo:

$$GER(Kcal / dia) = 3,94VO_2 + 1,1VCO_2 * 1440$$

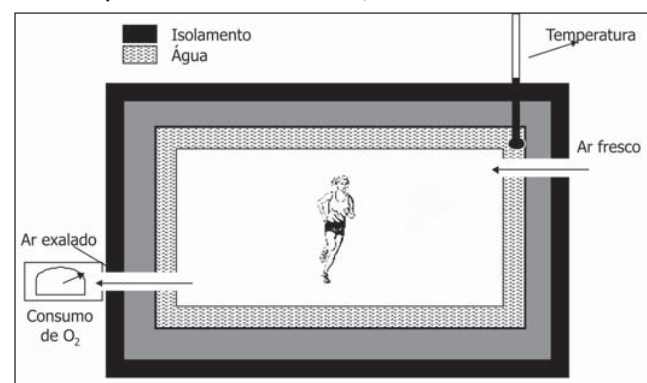
onde: GER: gasto energético basal; VO<sub>2</sub>: volume de oxigênio consumido (L/min); VCO<sub>2</sub>: volume de dióxido de carbono produzido (L/min); 1440: número de minutos por dia.

Existem várias etapas até esta fórmula ser derivada, as quais não serão discutidas aqui (ver WEIR, 1949). A sala destinada à coleta dos gases deve ter condições estáveis e conhecidas de temperatura, pressão atmosférica e umidade e, então, devem ser corrigidas para as condições padrão STPD (; 0°C 760 mmHg). Quando o volume é em L/min, a energia é dada em kcal/min e, para comparar o gasto energético relativo de diferentes massas corporais, o resultado deve ser em kcal/kg/min. A calorimetria indireta tem trazido luz sobre vários aspectos da assimilação de nutrientes, termogênese energética da atividade física, patogênese da obesidade e diabetes (FERRANNINI, 1988).

## Importância do uso do o<sub>2</sub>, co<sub>2</sub> e nitrogênio urinário na estimativa calorimétrica

As fórmulas para estimativas calorimétricas podem utilizar somente o O<sub>2</sub>, o O<sub>2</sub> mais o CO<sub>2</sub>, como demonstrado na fórmula

**Figura 2 – Modelo de bomba calorimétrica. Veja texto para detalhes. Adaptado de FOX & MATHEWS, 1986**



acima, ou, ainda, incluir uma correção para o nitrogênio excretado pela urina. Como já discutido anteriormente, o nitrogênio urinário parece não fornecer uma correção significativa e o erro é considerado desprezível. De fato, se a porcentagem de calorias da proteína fica entre 10 e 15% do total, o erro máximo em não incluí-la na fórmula é menor do que 1 em 500 (WEIR, 1949).

Portanto, vamos discutir a importância da inclusão do CO<sub>2</sub> na fórmula, uma vez que este é um fator encarecedor do teste. Quando se compara sedentários desempenhando uma atividade física em diferentes intensidades, observa-se que a inclusão das outras variáveis além do O<sub>2</sub> não melhora a predição do custo calórico do exercício (Figura 3). Todavia, quando utilizamos atletas como amostra, a situação torna-se bastante diferente. Por exemplo, homens (20-34 anos) correndo 5 milhas e com as medidas calorimétricas ao final da primeira, terceira e quinta milha, apresentam uma superestimação do gasto energético do exercício de aproximadamente 1000 kcal, quando utilizado somente o O<sub>2</sub> para o cálculo, comparado ao uso do O<sub>2</sub> e do CO<sub>2</sub> em conjunto. O nitrogênio não forneceu benefício adicional ao ser incluído na fórmula (Figura 4), reforçando o discutido acima. Portanto, em se tratando de indivíduos ativos, parece ser importante considerar a produção de CO<sub>2</sub> no cálculo calorimétrico, a fim de evitar a superestimação do gasto energético, levando

a uma orientação dietética excedente ao necessário para este indivíduo. Os cálculos foram realizados no nosso laboratório, e os dados da Figura 4 estão na Tabela 3.

### Cálculos por estimativas

Existem várias estimativas para cálculo da TMB, sendo as mais conhecidas as de HARRIS & BENEDICT (1919) e a da FAO/WHO/UNO de 1985 (ALFONZO-GONZÁLEZ et al., 2004). Vários estudos demonstraram que esta última superestima a TMB, podendo levar a orientações de supernutrição quando baseadas nela (VALENCIA et al., 1994; ALFONZO-GONZÁLEZ et al., 2004). Um estudo comparou as principais equações de predição da TMB (Harris and Benedict, Owen, Mifflin, WHO, Berstein and Robertson and Reid) com a calorimetria indireta, em 157 mulheres brancas (18-35 anos), de diferentes composições corporais e situações. Todas as equações continham um erro que ia da superestimação em 13% à subestimação de 9%, nos diferentes grupos. Estes autores concluíram que medir a calorimetria pela análise das trocas de gases, além de ser um procedimento mais confiável, também reduz a margem de erro, na orientação dietética. Porém, quando isso não é possível, as equações de Owen para indivíduos com peso normal, a de Berstein para sobrepeso e a de Robertson e Reid para obesos produzem os melhores

**Tabela 1 - Balanço de energia para os três principais nutrientes**

Cox	ΔG°	O <sub>2</sub> usado		CO <sub>2</sub> pro		ATP pro			CC ATP		EO <sub>2</sub>	EATP O <sub>2</sub>
(1 mol)*	(kcal/mol)	(mol)	(L)	(mol)	(L)	QR	(mol)	(kg)	(kal/mol)	(L/mol)	Kcal/L	(mol/mol)
Glicose	-673	6	134	6	134	1,000	36	18,3	18,7	3,72	5,02	3,00
Palmitato	-2398	23	515	16	358	0,695	131	66,4	18,3	3,93	4,66	2,85
Amino ácidos+	-475	5,1	114	4,1	92	0,807	23	11,7	20,7	4,96	4,17	2,25

\* A oxidação completa da glicose produz 38 ATP por mol de glicose, mas 2 moles de ATP são utilizados durante a glicólise.

† A oxidação completa dos aminoácidos produz 28,8 moles de ATP, mas 5,8 moles são consumidos no processo.

COx, combustível oxidado; CO<sub>2</sub> prod, CO<sub>2</sub> produzido, QR, quociente respiratório, ATP prod, peso do ATP produzido; CC ATP, custo calórico do ATP; EO<sub>2</sub>, equivalente calórico do O<sub>2</sub>; EATP O<sub>2</sub>, equivalente ATP do O<sub>2</sub>.

Adaptado de FERRANNINI (1988).

**Tabela 2 - Equivalente energético dos alimentos**

Alimento	Calorimetria			Energia fisiológica		QR	
	Kcal/g	Kcal/g	O <sub>2</sub> kcal/L	CO <sub>2</sub> kcal/L	QR	O <sub>2</sub> L/g	CO <sub>2</sub> L/g
CH	4,1	4,02	5,05	5,05	1	0,81	0,81
Proteína	5,65	5,20	4,46	5,57	0,80	0,94	0,75
Gordura	9,45	8,98	4,74	6,67	0,71	1,96	1,39
Álcool	7,1	7,0	4,86	7,25	0,67	1,46	0,98
Dieta mista			4,83	5,89	0,82		

Adaptado de FOX e MATHEWS, 1986.

QR, quociente respiratório = VCO<sub>2</sub>/VO<sub>2</sub>; CH, carboidratos.

A perda fisiológica se deve ao consumo energético para o metabolismo dos nutrientes. Aqui é apresentada uma perda média de 2% para os carboidratos, 5% para as gorduras, e 8% para as proteínas. Mas estas perdas podem ser diferentes, indo até 6-8% para os carboidratos, 2-3% para as gorduras, e 20% para as proteínas (DYCK, 2000; JÉQUIER, 2001).

**Tabela 3 - Exemplo para cálculo da figura 4. Homens entre 20 e 34 anos de idade correndo 5 milha**

	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	VO <sub>2</sub>	VCO <sub>2</sub>	NU	Ekcal/d	Ekcal/d	Ekcal/d	
Coefficiente R	L/min	L/min	L/dia	L/dia	g/dia	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> e CO <sub>2</sub>	+NU	
0,17	0,86	0,15	1238,4	216,0	8	5975	5119	5102	Fim 1º milha
0,12	0,95	0,11	1368,0	158,4	8	6601	5566	5549	Fim 3º milha
0,13	0,94	0,12	1353,6	172,8	8	6531	5526	5508	Fim 5º milha

Cálculos realizados em nosso laboratório.

NU, nitrogênio urinário; Ekcal/d, energia em kcal por dia.

resultados em mulheres jovens. Por fim, durante a redução de peso, a equação de Owen foi a que teve melhor valor preditivo, devido às alterações causadas pela adaptação metabólica da restrição calórica. Além disso, estes autores desenvolveram uma equação de regressão (OUR), para predição da TMB, que foi uma das que apresentou o menor índice de erro, se comparada à calorimetria indireta (SIERVO et al., 2003).

Outra forma de se estimar o gasto energético é através da frequência cardíaca. Para tal, é necessário estimar-se simultaneamente a frequência cardíaca e o  $\text{VO}_2$  para uma determinada atividade, a fim de se estabelecer equações de regressão, para então se utilizar somente a FC para o cálculo. Foi demonstrado que existe grande correlação entre o  $\text{VO}_2$  e a FC, mas as curvas de interceptação variam muito de dia para dia, levando a uma pobre concordância entre as duplicatas da estimativa para o gasto energético. A estimativa talvez seja melhorada, se as linhas de regressão para  $\text{VO}_2/\text{FC}$  forem determinadas para vários tipos de atividades, incluindo “inativamente sentado” (CHRISTENSEN et al., 1983). Todavia, foi demonstrado que, quando a FC é associada a sensor de movimento, a estimativa do gasto energético é absurda (STRATH et al., 2002). As estimativas através de cálculos só devem ser uma opção, quando a calorimetria indireta pela análise dos gases é indisponível.

### Estimativa da utilização do substrato energético

As estimativas do consumo de oxigênio ( $\text{VO}_2$ ) e da produção de dióxido de carbono ( $\text{VCO}_2$ ) permitem determinar qual substrato energético está sendo utilizado em uma determinada atividade. O quociente respiratório (QR) é obtido pela relação  $\text{VCO}_2/\text{O}_2$ . Como cada substrato consome uma quantidade específica de  $\text{O}_2$  e produz  $\text{CO}_2$ , pode-se estimar qual deles está sendo predominantemente oxidado. A contribuição protéica para fornecimento de energia durante a atividade física é desconsiderada, uma vez que sua participação é pequena (POWERS & HOWLEY, 2000). Abaixo são exemplificados os cálculos do QR para gordura e carboidratos (ver detalhes e a oxidação dos três substratos na Tabela 1).

Gordura (ácido palmítico)  $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$

Oxidação:  $\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2 + 23\text{O}_2 \rightarrow 16\text{CO}_2 + 16\text{H}_2\text{O}$

$\text{QR} = \text{VCO}_2 \div \text{O}_2 = 16\text{CO}_2 \div 23\text{O}_2 = 0,70$

Glicose:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Oxidação:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

$\text{QR} = \text{VCO}_2 \div \text{VO}_2 = 6\text{CO}_2 \div 6\text{CO}_2 = 1$

### Fatores que afetam o QR e estimativa calórica da atividade

Outros fatores podem afetar o QR, além da pura oxidação de substratos, sendo os principais: a) hiperventilação, que pode ocorrer de forma voluntária ou por estresse, resulta em perda excessiva de  $\text{CO}_2$ , fazendo com que o QR ultrapasse 1; b) nos primeiros minutos de uma atividade sub-máxima, os proprioceptores articulares de movimento podem estimular o centro respiratório, resultando em hiperventilação, fazendo o QR ultrapassar 1 (FOX & MATHEWS, 1986); c) atividades exaustivas também podem fazer o QR ultrapassar 1, pois a respiração funciona como tamponadora da acidose metabólica, aumentando a eliminação do  $\text{CO}_2$ , que é um subproduto do ácido lático formado (FETT et al., 2004). Uma vez estimado o QR não protéico de uma atividade, pode-se obter o custo calórico por litro de  $\text{O}_2$  consumido, multiplicando-se o volume de  $\text{O}_2$  consumido por uma constante (FOX & MATHEWS, 1986).

O tipo de substrato oxidado depende da intensidade e duração da atividade física. Quanto mais intenso, maior a proporção de carboidratos e quanto mais longa, maior a participação das gorduras (POWERS & HOWLEY, 2000) (Figuras 5 e 6). Existe toda uma alteração hormonal e metabólica subordinada à intensidade da atividade que, por sua vez, determina a prioridade do nutriente a ser oxidado. Além disso, há um complexo sistema de tamponamento dos metabólitos, que podem afetar a mensuração do custo energético da atividade. Este tópico não será abordado aqui e, para detalhes, veja a referência FETT et al. (2004).

Outra questão importante com relação à dosagem de  $\text{CO}_2$  é verificada em situações de lipogênese, que ocorre quando há excedente calórico, a partir do substrato glicose ou proteína. A produção de  $\text{CO}_2$  é muito aumentada em relação ao consumo de  $\text{O}_2$ , fazendo com que o QR aumente desproporcionalmente, como demonstrado abaixo (FERRANNINI, 1988):

Lipogênese a partir da glicose

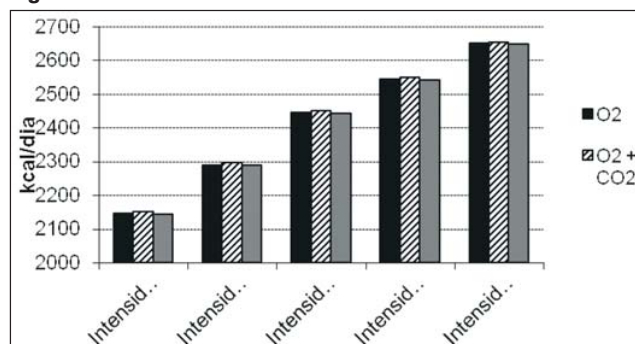
$1\text{g Gli} \rightarrow 0,52\text{g Gor} + 0,31\text{L O}_2$

$\Delta G^\circ = +1,22 \text{ kcal / g}$

$1\text{g Gli} + 0,045\text{LO}_2 \rightarrow 0,35\text{g Gor} + 0,25\text{LCO}_2$

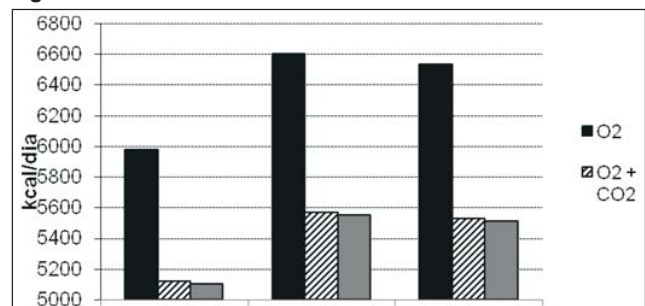
$\text{QR} = \text{CO}_2 \div \text{O}_2 = 0,25 \div 0,045 = 5,5$

**Figura 3**



Erro na estimativa do gasto energético diário de indivíduos sedentários, quando se utiliza somente  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  e nitrogênio urinário na fórmula, em diferentes intensidades crescentes de atividade física. Não existe diferença significativa entre as estimativas.

**Figura 4**



Gasto energético de homens treinados (20-34 anos) correndo 5 milhas, estimado pela análise de  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_2$  mais  $\text{CO}_2$  e ambos mais o nitrogênio urinário (NU). Observa-se que a utilização de somente  $\text{O}_2$  na fórmula superestima o custo calórico em aproximadamente 1000 kcal, o que é corrigido pela inclusão do  $\text{CO}_2$ , mas o NU não melhora a estimativa.



Lipogênese a partir de proteína

$1\text{g Pr} \rightarrow 0,54\text{g Gor} + 0,14\text{LO}_2$

$\Delta G^\circ = +1,07\text{ kcal/g}$

$1\text{g Pr} + 0,253\text{LO}_2 \rightarrow 0,08\text{g Gor} + 0,303\text{LCO}_2$

$\text{QR} = \text{CO}_2 \div \text{O}_2 = 0,303 \div 0,253 = 1,2$

## DISCUSSÃO

### Aplicações práticas

Cada atleta tem um requerimento energético único, o qual deve ser definido a fim de que todos os seus objetivos nutricionais e a máxima sejam alcançados. Para avaliação do plano dietético diário, o requerimento energético pode ser predito pela estimativa da TMB ou TMR e pelo nível de atividade física. A calorimetria indireta associada ao registro alimentar permite mensurar o requerimento energético e verificar a adequação dietética (BURKE, 2001).

A calorimetria pode ser utilizada para determinar adaptações metabólicas relacionadas a diferenças nutricionais e de treinamento. Por exemplo, GRUND et al. (2001) observaram que o estado nutricional, as adaptações fisiológicas e as metabólicas apresentam diferenças entre os indivíduos treinados para e os treinados para força. Nos primeiros, verificou-se aumento do gasto energético, quantidade de movimento e ativação do sistema nervoso central, mas não nos segundos. Todavia, a TMR é positivamente associada a MM (BERNSTEIN et al., 1983; RAVUSSIN et al., 1982; RAVUSSIN et al., 1985; SEGAL et al., 1987), que era mais desenvolvida nos atletas de resistência do que nos de . Quando comparados homens musculosos com os de mesmo peso mas obesos, a TMB era significativamente mais elevada para os primeiros (SEGAL et al., 1985). Entretanto, existem controvérsias, pois foi observada em outros estudos, correlação da TMB com a massa magra e a gordura corporal (JÉQUIER & SCHUTZ, 1983) e, ainda, somente com a gordura corporal (SALAS-SALVADO et al., 1993).

Na obesidade, a mensuração da TMR auxilia na orientação dietética e evolução do tratamento. Além disso, esse procedimento contribui para acompanhar seu comportamento, uma vez que a dieta tem um efeito de redução e a atividade

física, de estabilização ou, mesmo, de reversão após a queda (MOLÉ et al., 1989) e, no caso de exercícios resistidos, pode até haver aumento deste componente (MELBY et al., 1993). Ainda, BUTTE et al. (2003) observaram que a recomendação energética para mulheres saudáveis, indo do déficit de peso ao sobrepeso, calculado pelo IMC, deve ser revisto com base na estimativa da TMB. Foi verificado que a TMB é subestimada em mulheres ativas, quando utilizado um fator médio de correção de 1,86. Quando comparada à estimativa do gasto energético de 24 horas por água duplamente marcada em mulheres jovens e idosas, foi observado que a RDA para o requerimento energético, era subestimada no grupo jovem, mas não no grupo idoso (SAWAYA et al., 1995). Por outro lado, não foi observada diferença na TMB de garotas pré-pubescentes obesas, comparadas às de peso normal (TREUTH et al., 1998).

## CONCLUSÃO

A calorimetria fornece importantes informações sobre o comportamento dietético e de atividade física em diferentes grupos de indivíduos com diferentes interesses. Na área de saúde, ela pode auxiliar na determinação do aporte calórico de obesos engajados em programas de redução de peso, bem como, nestes casos, acompanhar a evolução da doença através das alterações metabólicas e calorimétricas envolvidas no processo. Para os atletas, a calorimetria indireta é um importante instrumento, com várias aplicações práticas: a) estimativa adequada do aporte calórico a ser administrado, de especial interesse em atletas que precisam controlar o peso; b) determinar o substrato utilizado durante uma atividade, a fim de orientar a correta reposição; c) estimativa da aeróbica pela determinação do  $\text{VO}_2\text{max}$ ; d) determinar o ponto de limiar anaeróbico, para estipular a intensidade do treinamento; e) através da determinação do limiar anaeróbico é possível estimar-se a participação do metabolismo aeróbio/anaeróbio de uma atividade, etc. Outro ponto importante é a economia que pode ser feita pelo ajuste adequado da dieta, evitando-se a superalimentação dos indivíduos. Futuros estudos devem ser endereçados para responder à relevância da estimativa do  $\text{CO}_2$  em atletas, com o objetivo de calcular o custo energético da atividade e avaliar sua importância para a saúde do indivíduo.

**Figura 5**

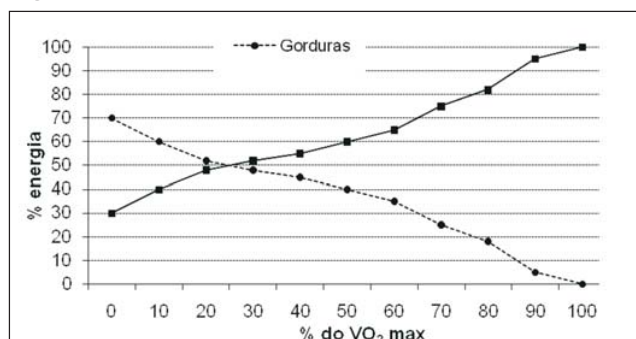
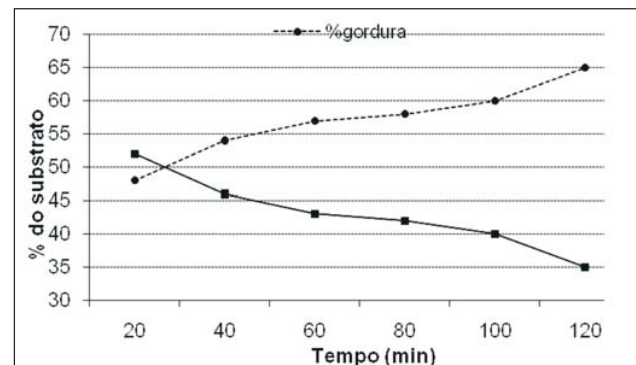


Ilustração do efeito de cruzamento, demonstrando que a medida que aumenta a intensidade da atividade física, aumenta a participação dos carboidratos na produção de energia. O contrário é verdadeiro. Adaptado de POWERS & HOWLEY, 2000.

**Figura 6**



Alteração no substrato energético conforme o tempo de atividade física se prolonga. Adaptado de POWERS & HOWLEY, 2000.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonzo-Gonzalez G, Doucet E, Almeras 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. 2004;58:1125-31.
- Benedict FG, Cathcart EP. . Washington, DC: Carnegie Institute Publication; 1913. p.187.
- Bernstein RS, Thornton JC, Yang MU, Wang J, Redmond AM, Jr, Pierson RN, Pi-Sunyer FX, Itallie TB. Prediction of the resting metabolic rate in obese patients. 1983;37:595-2.
- Burke LM. Energy needs of athletes. Can J Appl Physiol 2001;26:S202-19.
- Butte NF, Treuth MS, Mehta NR, Wong WW, Hopkinson JM, Smith EO. Energy requirements of women of reproductive age. 2003;77:630-8.
- Christensen CC, Frey HM, Foenstelien E, Aadland E, Refsum HE. A critical evaluation of energy expenditure estimates based on individual O<sub>2</sub> consumption/heart rate curves and average daily heart rate. . 1983;37:468-72. <sup>2</sup>
- Deriaz O, Fournier G, Tremblay A, Despres JP, Bouchard C. Lean-body-mass composition and resting energy expenditure before and after long-term overfeeding. . 1992;56:840-7.
- Dyck DJ. Dietary fat intake, and weight loss. 2000;25:495-23.
- Ferranini E. The theoretical basis of indirect calorimetry: A review. 1988;3:287-01.
- Fett CA, Fett WCR, Maestá N, Petricio A, Correa C, Burini RC. A suplementação de ácidos graxos ômega 3 e triglicérides de cadeia média não alteram os indicadores metabólicos em um teste de exaustão. 2004;10:44-49.
- Fox EL, Mathews KD. . 3º Edição, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro; 1986. p. 43-7.
- Grund A, Krause H, Kraus M, Siewers M, Rieckert H, Muller MJ. Association between different attributes of physical activity and fat mass in untrained, endurance- and resistance-trained men. . 2001;84:310-20.
- Harris JA, Benedict FG. . Washington, DC: Carnegie Institute of Washington, 1919 (Publication number 297).
- Hiramatsu T, Cortiella J, Marchini JS, Chapman TE, Young VR. Source and amount of dietary nonspecific nitrogen in relation to whole-body leucine, phenylalanine, and tyrosine kinetics in young men. 1994;59:1347-5.
- Jéquier E, Schutz Y. Long-term measurements of energy expenditure in humans using a respiration chamber. 1983;38:989-8.
- Jéquier E. Is fat intake a risk factor for fat gain in children? 2001;86:980-3.
- Jordão Jr AA, Bellucci AD, Dutra de Oliveira JE, Marchini JS. Midarm computerized tomography fat, muscle and total areas correlation with nutritional assessment data. 2004;28:1451-5.
- Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology. 2004;286:E675-85.
- Lowell BB, Spiegelman BM. Towards a molecular understanding of adaptative thermogenesis. 2000;404:652-60.
- Melby C, Scholl C, Edwards G, Bullough R. Effect of acute resistance exercise on postexercise energy expenditure and resting metabolic rate. 1993;75:1847-3.
- Molé PA, Stern JS, Schultz CL, Bernauer ED, Holcomb BJ. Exercise reverses depressed metabolic rate produced by severe caloric restriction. 1989;21:29-33.
- Powers SK, Howley ET. Terceira edição, Editora Manolé, São Paulo, SP; 2000. p.53-5.
- Ravussin E, Burnand B, Shultz Y, Jéquier E. Energy expenditure before and during energy restriction in obese patients. 1985;41:753-9.
- Ravussin E, Burnand B, Shultz Y, Jéquier E. Twenty-four hour expenditure and resting metabolic rate in obese, moderately obese, and control subjects. 1982;35:566-3.
- Salas-Salvado J, Barenys-Manent M, Recasens MAG, Marti-Henneberg C. Influence of adosity on the thermic effect of food and exercise in lean and obese adolescents. 1993;17:717-22.
- Sawaya AL, Saltzman E, Fuss P, Young VR, Roberts SB. Dietary energy requirement of young and older women determined by using the doubly labeled water method. 1995;62:338-44.
- Segal KR, Gutin B, Nyman AM, Pi-Sunyer FX. Thermic effect of food at rest, during exercise, and after exercise in lean and obese men of similar body weight. 1985;76:1107-12.
- Segal KR, Gutin B, Albu J, Pi-Sunyer FX. Thermic effects of food in lean and obese men of similar lean body weight. 1987;252:E110-7.
- Siervo M, Boschi V, Falconi C. Which REE prediction equation should we use in normal-weight, overweight and obese women? . 2003;22:193-204.
- Strath SJ, Bassett DR Jr, Thompson DL, Swartz AM. Validity of the simultaneous heart rate-motion sensor technique for measuring energy expenditure. . 2002;34:888-94.
- Suen VMM, Silva GA, Tannus AF, Unamuno MRDL, Marchini JS. Effect of hypocaloric meals with different macronutrient composition on energy metabolism and lung function in obese women. 2003;19:703-7.
- Treuth MS, Figueroa-Colon R, Hunter GR, Weinsier RL, Butte NF, Goran ML. Energy expenditure and physical fitness in overweight vs non-overweight prepubertal girls. 1998;22:440-7.
- Valencia ME, Moya SY, McNeill G, Haggarty P. Basal metabolic rate and body fatness of adult men in northern Mexico. . 1994;48:205-11.
- Weir JB. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. 1949;109:1-9.