

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

FACULDADE DE NUTRIÇÃO

MESTRADO EM NUTRIÇÃO

**A RELAÇÃO ENTRE GASTO ENERGÉTICO TOTAL E ATIVIDADE
FÍSICA EM MULHERES DE BAIXA RENDA MORADORAS DE UMA
ÁREA URBANA EMPOBRECIDA**

MATEUS DE LIMA MACENA

MACEIÓ

2022

MATEUS DE LIMA MACENA

**A RELAÇÃO ENTRE GASTO ENERGÉTICO TOTAL E ATIVIDADE
FÍSICA EM MULHERES DE BAIXA RENDA MORADORAS DE UMA
ÁREA URBANA EMPOBRECIDA**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Nutrição da Universidade Federal de
Alagoas como requisito parcial à obtenção
do título de Mestre em Nutrição.

Orientador: **Prof. Dr. Nassib Bezerra Bueno**

Faculdade de Nutrição

Universidade Federal de Alagoas

Co-Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Telma Maria de Menezes Toledo Florêncio**

Faculdade de Nutrição

Universidade Federal de Alagoas

MACEIÓ

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

M141r Macena, Mateus de Lima.

A relação entre gasto energético total e atividade física em mulheres de baixa renda moradoras de uma área urbana empobrecida / Mateus de Lima Macena. – Maceió, 2022.

62 f. : il.

Orientador: Nassib Bezerra Bueno.

Coorientadora: Telma Maria de Menezes Toledo Florêncio.

Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Nutrição. Programa de Pós-Graduação em Nutrição. Maceió, 2022.

Texto parcialmente em inglês.

Bibliografia: f. 51-55.

Apêndices: f. 57-62.

1. Acelerometria. 2. Exercício físico. 3. Homeostase. 4. Metabolismo energético. 5. Pobreza. I. Título.

CDU: 612.015.6:796-055.2

MESTRADO EM NUTRIÇÃO
FACULDADE DE NUTRIÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

Campus A. C. Simões
BR 104, km 14, Tabuleiro dos Martins
Maceió-AL 57072-970
Fone/fax: 81 3214-1160



PARECER DA BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

“A RELAÇÃO ENTRE GASTO ENERGÉTICO TOTAL E ATIVIDADE FÍSICA EM MULHERES DE BAIXA RENDA MORADORAS DE UMA ÁREA URBANA EMPOBRECIDA”

por

Mateus de Lima Macena

A Banca Examinadora, reunida aos 22/02/2022, considera o candidato
APROVADO.



Documento assinado digitalmente
NASSIB BEZERRA BUENO
Data: 25/02/2022 09:08:13 -0300
Verifique em <https://verificador.br.br>

Prof. Dr. Nassib Bezerra Bueno
Faculdade de Nutrição
Universidade Federal de Alagoas
(Orientador)



Documento assinado digitalmente
Luiz Rodrigo Augustemak de Lima
Data: 24/02/2022 20:33:38 -0300
Verifique em <https://verificador.br.br>

Prof. Dr. Luiz Rodrigo Augustemak de Lima
Instituto de Educação Física e Esporte
Universidade Federal de Alagoas
(Examinador)

Prof. Dr. Ezequiel Moreira Gonçalves
Universidade Estadual do Norte do Paraná
(Examinador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus.

Aos meus pais, André e Vânia, por todo amor e apoio em todas as minhas escolhas. Vocês foram imprescindíveis na realização dessa etapa e são fundamentais para a continuação dessa caminhada.

Ao meu irmão André e à minha cunhada Marjory por toda a escuta, carinho, amor e conselhos. Ao meu sobrinho, Theozinho, por sua chegada e seu jeito de tornar tudo mais leve.

Ao meu orientador e amigo, professor Nassib, por todos os ensinamentos, conversas, paciência e confiança depositada para a realização de um mestrado produtivo e tranquilo mesmo em tempos tão difíceis.

Ao professor Leão, por sua amizade e ensinamentos, que perduram mesmo após a graduação.

Aos meus parceiros de vida pessoal e acadêmica, André e Dafiny, por sempre se fazerem presentes e estarem juntos comigo nessa caminhada, fazendo-a mais leve e prazerosa. Por saber que sempre posso contar com vocês e que não estarei só.

Às minhas amigas durante o mestrado, Alexandra, Nykholle e Witiane, obrigado por todo o companheirismo e desafios enfrentados juntos durante essa etapa.

Aos meus amigos Sávio, Jeroan, Rayane e Julio, que mesmo não estando fisicamente presentes em todos os momentos, foram essenciais durante a jornada e que continuarão nas demais.

Aos professores e técnicos da Faculdade de Nutrição, que contribuíram de alguma forma para a conclusão dessa etapa.

Aos meus colegas de turma.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

MACENA, M. L. **A relação entre gasto energético total e atividade física em mulheres de baixa renda moradoras de uma área urbana empobrecida.** 2022. 62f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

O uso da atividade física para obter um balanço energético negativo é baseado no modelo linear (aditivo ou fatorial) do gasto energético total (GET), ou seja, a partir de sua prática, conforme o nível de atividade física (NAF) aumenta, o GET também aumenta. No entanto, existem críticas a esse modelo e uma segunda proposta para descrição dessa relação surge mais recentemente, que é conhecido como modelo não-linear (restrito). Nesse segundo modelo, o corpo se adapta à níveis mais altos de atividade física para manter o GET dentro de uma faixa homeostática estreita. Assim, baseada no artigo principal, a presente dissertação apresenta como objetivo avaliar se a relação entre o GET o NAF de mulheres de baixa renda moradoras de uma área urbana empobrecida se comporta de forma linear ou não. Trata-se de um estudo transversal, no qual participaram mulheres adultas com idade entre 19 e 45 anos, com índice de massa corporal (IMC) $\geq 18,5 \text{ kg/m}^2$, mães ou cuidadoras de crianças com baixa estatura atendidas no Centro de Recuperação e Educação Nutricional (CREN). Foram coletados dados antropométricos, hormonais (insulina e hormônios do eixo tireoidiano), GET (por água duplamente marcada), composição corporal (por deutério) e NAF (equivalente metabólico de tarefa (MET), por acelerômetros triaxiais). Modelos ajustados do GET foram calculados incorporando os resíduos dessas variáveis citadas. E a avaliação da relação entre o MET e o GET-ajustado se deu através de três diferentes análises: regressão linear, regressão não-linear e regressão do ponto de mudança, para identificar o platô dessa relação. Foram incluídas 55 mulheres com média de idade de 31 ± 5 anos, e IMC de $27,47 \pm 4,59 \text{ kg/m}^2$. Foi possível observar uma relação positiva e linear entre o GET ajustado e o MET ($\beta = 16,10 \text{ kcal}$; IC 95%: 2,59; 29,60; R^2 ajustado = 0,08). O ponto de mudança foi identificado no valor de MET de 256,50 (Erro Padrão = 4,46; R^2 ajustado = 0,13). A associação entre o GET ajustado e o MET antes do ponto de mudança foi mais forte ($\beta = 30,36 \text{ kcal}$; IC 95%: 5,82; 54,90; R^2 ajustado = 0,11) que a associação no modelo linear, e essa associação deixou de existir quando foi avaliada em indivíduos após o ponto de mudança ($\beta = -39,34 \text{ kcal}$; IC 95%: -99,84; 21,15; R^2 ajustado = 0,08). Assim concluímos que, o modelo não-linear parece ser mais adequado para descrever o GET de mulheres baixa renda moradoras de uma área urbana empobrecida do que o modelo linear, uma vez que essa relação linear e aditiva parece ser verdadeira apenas até uma

determinada quantidade de atividade física. No entanto, salientamos ainda que a recomendação da prática de atividade física traz diversos outros benefícios para saúde humana e combate às doenças crônicas não transmissíveis.

Palavras-chave: Acelerometria. Exercício físico. Homeostase. Metabolismo energético. Pobreza.

ABSTRACT

MACENA, M. L. **The relationship between total energy expenditure and physical activity in low-income women living in an impoverished urban area.** 2021. 62f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) – Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

The use of the physical activity to obtain a negative energy balance is based on the linear model (additive or factorial) of the total energy expenditure (TEE), that is, from its practice, as the physical activity level (PAL) increases, the TEE it also increases. However, there are critics of this model and a second proposal to describe this relationship has emerged more recently, known as the non-linear (constrained) model. In this second model, the body adapts to higher levels of physical activity to keep the TEE within a narrow homeostatic range. Thus, based on the main article, this dissertation has as its objective to assess whether the relationship between TEE and PAL of low-income women living in an impoverished urban area behaves linearly or not. This is a cross-sectional study, which included adult women aged between 19 and 45 years, with body mass index (BMI) $\geq 18.5 \text{ kg/m}^2$, mothers or caregivers of children with short stature attended at the Centro de Recovery and Nutrition Education (CREN). Anthropometric, hormonal (insulin and thyroid axis hormones), TEE (by double-labeled water), body composition (by deuterium) and PAL (metabolic equivalent of task (MET) by triaxial accelerometer) data were collected. Adjusted-TEE models were calculated incorporating the residuals of these variables mentioned. And the evaluation of the relationship between MET and adjusted-TEE was done through three different analyses: linear regression, non-linear regression and point-of-change regression, to identify the plateau of this relationship. Fifty-five women were included with a mean age of 31 ± 5 years, and BMI of $27.47 \pm 4.59 \text{ kg/m}^2$. It was possible to observe a positive and linear relationship between the adjusted-TEE and the MET ($\beta = 16.10 \text{ kcal}$; 95% CI: 2.59; 29.60; adjusted $R^2 = 0.08$). The change point was identified at the MET value of 256.50 (SD = 4.46; adjusted $R^2 = 0.13$). The association between the adjusted-TEE and the MET before the change point was stronger ($\beta = 30.36 \text{ kcal}$; 95% CI: 5.82; 54.90; adjusted $R^2 = 0.11$) than the association in the linear model, and this association stop existing when it was evaluated in individuals after the change point ($\beta = -39.34 \text{ kcal}$; 95% CI: -99.84; 21.15; adjusted $R^2 = 0.08$). Thus, we conclude that the non-linear model seems to be more adequate to describe the TEE of low-income women living in an impoverished urban area than the linear model, since this linear and additive relationship seems to be true only up to a certain amount of physical activity. However, we also emphasize that the recommendation of physical

activity brings several other benefits to human health and combating chronic non-communicable diseases.

Palavras-chave: Accelerometry. Energy metabolism. Exercise. Homeostasis. Poverty.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO.....	10
2 INTRODUÇÃO.....	11
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 GASTO ENERGÉTICO TOTAL.....	13
3.1.1 Gasto energético de repouso e basal.....	13
3.1.2 Efeito térmico do alimento.....	14
3.1.3 Gasto energético proveniente de atividade física.....	14
3.1.3.1 Nível de atividade física.....	15
3.1.3.1.1 <i>Equivalente metabólico de tarefa</i>	15
3.1.3.2 Efeito da atividade física e do exercício físico sobre o gasto energético.....	16
3.1.4 Métodos de avaliação do gasto energético.....	17
3.1.4.1 Água duplamente marcada.....	17
3.1.4.2 Calorimetria direta e indireta.....	17
3.1.4.3 Acelerometria.....	18
3.1.4.4 Equações preditivas do gasto energético.....	19
3.2 MODELOS PARA DESCRIÇÃO DO GASTO ENERGÉTICO.....	19
3.2.1 Modelo linear (aditivo).....	20
3.2.2 Modelo não-linear (restrito).....	21
4 ARTIGO DE RESULTADO.....	23
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
6 REFERÊNCIAS.....	51
APÊNDICES.....	56
APÊNDICE A.....	57
APÊNDICE B.....	62

1 APRESENTAÇÃO

Trata-se de uma dissertação organizada como coletânea de artigos e está dividida em: uma introdução geral, um capítulo de revisão da literatura abordando a temática relacionada ao gasto energético e sua associação com a atividade física; e três artigos de resultados (um principal e dois apresentados como apêndices). O artigo principal, que apresenta o título semelhante ao dessa dissertação e que a norteia, objetivou determinar a relação entre o gasto energético total (GET) e o nível de atividade física (NAF) de mulheres de baixa renda moradoras de uma área urbana empobrecida. O primeiro artigo como apêndice trata-se de uma revisão sistemática com metanálise que teve como objetivo determinar qual equação preditiva do gasto energético de repouso (GER) e GET possui o menor viés e a maior precisão em adultos com sobrepeso e obesidade. Já o segundo, se refere a um artigo original que teve como objetivo avaliar se existe associação entre os indicadores de atividade física e de comportamento sedentário com o perfil hormonal e GER de mulheres adultas que vivem em regiões de baixa renda.

2 INTRODUÇÃO

O sobrepeso e a obesidade, que têm apresentado prevalências crescentes em todo o mundo, vêm se mostrando como importantes fatores de risco para o surgimento de distúrbios endócrinos, problemas respiratórios, doenças cardiovasculares, cânceres e até contribuído para o aumento para a morte prematura (GONZÁLEZ-MUNIESA et al., 2017; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021). Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o sobrepeso e a obesidade são causados pelo aumento no consumo de alimentos energeticamente densos e diminuição da atividade física (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2021). Por esse motivo o estudo do gasto energético se torna imprescindível para a efetividade de abordagens de prevenção e enfrentamento a esses agravos (WESTERTERP, 2017a), uma vez que estratégias para perda de peso se baseiam no estabelecimento de um balanço energético negativo, que pode acontecer de duas formas: pela diminuição do consumo energético e/ou por mudanças nos comportamentos de atividade física (WESTERTERP, 2017a; WHARTON et al., 2020). Os benefícios da atividade física sobre a saúde humana parecem já estarem bem estabelecidos (WARBURTON; BREDIN, 2017), no entanto, é possível encontrar lacunas de como essa pode se relacionar com o perfil hormonal e o gasto energético dos indivíduos, sendo este último nem sempre de fácil mensuração devido aos altos custos para aquisição de equipamentos considerados padrão-ouro (LAM; RAVUSSIN, 2016).

Além disso, a forma de como se interpreta a relação do gasto energético e a atividade física pode influenciar diretamente nas ações de combate a obesidade. Por muito tempo, o modelo linear (aditivo ou fatorial) de descrição do GET foi disseminado na prática clínica e em pesquisas científicas (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2001). No entanto, Pontzer (2015) propôs mais recentemente que essa relação não seria totalmente linear como preconizado. Por conseguinte, um segundo modelo, desta vez não-linear (restrito), propõe que o corpo se adapta à níveis mais altos de atividade física para manter o GET dentro de uma faixa homeostática estreita, ou seja, o GET não aumenta gradativamente e de forma ininterrupta à medida que o NAF aumenta (PONTZER et al., 2016; WESTERTERP, 2017b).

Até o momento, temos conhecimento de apenas alguns estudos que tenham avaliado qual o melhor modelo de descrição da relação entre o GET e o NAF (PONTZER et al., 2016; URLACHER et al., 2019; WILLIS et al., 2022). Por este motivo, o estudo

relatado no artigo principal se torna importante na contribuição a cerca dessa temática em contextos diferentes dos já abordados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 GASTO ENERGÉTICO TOTAL

O GET pode ser dividido em três componentes: GER ou basal (GEB), efeito térmico do alimento (ETA) ou termogênese induzida pela dieta, e o gasto energético proveniente de atividade física (WESTERTEP, 2016). O percentual atribuído desses componentes para o GET é variável na literatura, mas de acordo com a OMS, o GER, ETA e gasto proveniente de atividade correspondem a 60, 30 e 10% do GET, respectivamente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000).

3.1.1 Gasto energético de repouso e basal

Segundo o *Institute of Medicine* (IOM), o GEB diz respeito ao gasto energético observado após o jejum noturno, em que o indivíduo não consumiu nenhum alimento por 12 a 14 horas e se encontra em descanso, em posição supina e acordado, imóvel e em um ambiente termicamente neutro. Desta forma, o GEB reflete o gasto energético necessário para manter as atividades metabólicas das células e tecidos, adicionado ao gasto para manter a circulação sanguínea, respiração e os processos gastrointestinais e renais (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Já o GER tende a ser 10 a 20% maior do que o GEB devido ao gasto energético observado pela ingestão recente de alimentos ou pelo efeito retardado de atividade física recentemente concluída (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). O GER se refere à maior porção do GET, podendo variar entre 55 e 75% do GET (SOARES; MÜLLER, 2018). Tanto o GEB, quanto o GER, são extrapolações resultantes para 24h da taxa metabólica basal e taxa metabólica de repouso, respectivamente (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Vale ressaltar que apesar de ser abordado que o GEB e o GER são numericamente diferentes, por diversas vezes, a aplicação desses termos são usados de formas intercambiáveis, o que pode dificultar o uso constante de uma única nomenclatura, por esse motivo, na presente dissertação será utilizado o termo GER para se referir a essa porção do GET.

Dentre os principais determinantes da variação do GER, destacam-se a massa livre de gordura (músculo esquelético e órgãos), gordura corporal, sexo, idade, hormônios (tireoidianos, leptina, insulina, etc) e traços genéticos (SOARES; MÜLLER, 2018). No entanto, o determinante mais significativo do GER é a massa livre de gordura, podendo ser responsável por até 70% deste componente (LAM; RAVUSSIN, 2016).

3.1.2 Efeito térmico do alimento

O ETA se refere ao aumento do gasto energético após a realização de uma refeição. Esse gasto é advindo da digestão, absorção, transporte, metabolização e estoque dos nutrientes (CALCAGNO et al., 2019). O IOM corrobora com a OMS ao estimar que o ETA contribui com 10% do GET, no entanto, destaca-se que esse valor se refere a alimentações comuns em que existe uma mistura entre os três macronutrientes (carboidratos, lipídeos e proteínas) ao mesmo tempo. No entanto, quando os macronutrientes são avaliados separadamente, estes podem atribuir de 5 a 10% para carboidratos, 0 a 5% para lipídeos e de 20 a 30% para proteínas, no GET (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000).

O ETA parece ser maior em indivíduos mais jovens e fisicamente ativos (DU et al., 2014; POEHLMAN et al. 1991). Além disso, refeições contendo mais energia, maior conteúdo de fibras, e alimentos menos processados também são capazes de aumentar o ETA (BARNARD et al., 2005; QUATELA et al., 2016). A frequência, a duração das refeições e o período do dia parecem também serem capazes de alterar o ETA (ALLIROT et al., 2013; ROMON et al., 1993; TAI et al., 1991; TOYAMA et al., 2015). E além das características das refeições e da composição da dieta, outras características como idade, atividade física, a presença de obesidade e a resistência insulínica podem interferir no gasto energético proveniente do ETA (LAM; RAVUSSIN, 2016).

3.1.3 Gasto energético proveniente de atividade física

Primeiramente, entende-se como atividade física qualquer movimento corporal realizado por músculo esquelético e que resulta em um aumento do gasto energético (CASPERSEN; POWELL; CHRISTENSON, 1985). O gasto energético proveniente de atividade física pode ser observado imediatamente após o início desta atividade física e seu aumento persiste durante toda a atividade. Este gasto é variável pelas características da atividade realizada, como a intensidade, duração e frequência, e também pelo perfil do indivíduo que a executa (peso corporal e condicionamento físico) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2000).

O gasto energético proveniente de atividade física é considerado o componente de maior variabilidade do GET, podendo variar de um dia para o outro no mesmo indivíduo (WESTERTERP, 2018). A variação entre indivíduos também pode ser ampla, cuja em

indivíduos sedentários pode corresponder à um terço do GET, e enquanto, em indivíduos de vida muito ativa, como atletas, o gasto energético proveniente de atividade física pode ser duas vezes maior quando comparado a indivíduos não treinados (GRUND et al., 2001; INSTITUTE OF MEDICINE, 2005)

3.1.3.1 Nível de atividade física

O NAF ou índice de atividade física é a razão do GET pelo GER, sendo assim expresso como um múltiplo do GER. O IOM classifica os indivíduos a partir do NAF em quatro grupos: sedentários ($1,0 < \text{NAF} < 1,4$), pouco ativos ($1,4 \leq \text{NAF} < 1,6$), ativos ($1,6 \leq \text{NAF} < 1,9$) e muito ativos ($1,9 \leq \text{NAF} < 2,5$) (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Já a *Food and Agriculture Organization* (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2001), classifica o estilo de vida em relação ao NAF com outros pontos de corte: sedentário ou atividades leves ($1,40 \leq \text{NAF} < 1,69$), ativos ou atividades moderadas ($1,70 \leq \text{NAF} < 1,99$) e vigoroso ou atividades vigorosas ($2,00 \leq \text{NAF} < 2,40$). Além de ser usado para classificar, o NAF pode ser empregado para calcular o GET, quando multiplicado pelo GER, para indivíduos adultos, mulheres não grávidas ou que não estejam lactando. Essa abordagem deve ser evitada para o cálculo do GET de crianças, pois existem outros fatores que determinam as necessidades energéticas desse grupo populacional (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2001).

O NAF pode ser estimado por diversas formas, dentre elas se destacam o uso de questionários, que apesar de serem de fácil aplicação e baratos, são comumente imprecisos. Em contrapartida, o uso de acelerômetros é considerado acurado, porém são custosos, o que impossibilita sua aplicação na prática clínica e em estudos epidemiológicos de larga escala (JIANG et al., 2006; HALLAL et al., 2003; LEE; SHIROMA, 2014).

3.1.3.1.1 Equivalente metabólico estimado de tarefa

Questionários de avaliação de atividade física e acelerômetros podem fornecer dados comparáveis de equivalentes metabólicos de tarefa (*metabolic equivalent task* – MET). MET pode ser definido como quantidade de O_2 consumido enquanto o indivíduo está sentado em repouso e é igual a 3,5 mL de O_2 por kg de peso corporal por minuto, ou como 1 kcal/kg de peso corporal por hora (AINSWORTH et al., 2000). Como exemplos, temos que sentar calmamente equivale a 1 MET, dormir 0,9 MET, e correr a 17,5 km/h

18 METs. Diversos outros tipos de atividades e seus respectivos valores de MET podem ser observados nas atualizações dos Compêndios de Atividades Físicas publicados por AINSWORTH et al. (2000) e AINSWORTH et al. (2011).

Essa medida pode ser usada como um custo energético de atividade física e múltiplo do GER, de forma independente às características individuais e do tipo de atividade física realizada (JETTÉ; SIDNEY; BLÜMCHEN, 1990). No entanto, alguns estudos já mostram possíveis superestimações no GER ocasionadas pelo valor de MET, uma vez que o consumo de O₂ de alguns indivíduos pode ser inferior ao valor padronizado de 3,5 mL ao realizarem a atividade de ficar sentado em repouso (BYRNE et al 2005, KOZEY et al., 2010).

3.1.3.2 Efeito da atividade física e do exercício físico sobre o gasto energético

Primeiramente, deve-se ser feita a diferença conceitual de atividade física e exercício físico. Como já dito anteriormente, a primeira se refere a qualquer movimento de tecido muscular esquelético, no qual pode ser expresso o tempo em que o indivíduo passa sentado, em pé e caminhando, bem como o número de passos que o indivíduo executa e a cadência desses passos em sua rotina, que, conseqüentemente, gera um gasto de energia (DASSO, 2018; INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Já o exercício físico se refere a um tipo de atividade física planejada, estruturada e repetitiva que visa melhorar ou manter um ou mais componentes da aptidão física (CASPERSEN; POWELL; CHRISTENSON, 1985).

A ideia que a atividade física e/ou a prática de exercício físico seria capaz de produzir algum efeito sobre o gasto energético é antiga (SPEAKMAN; SELMAN, 2003). Esses efeitos poderiam acontecer de forma aguda ou crônica. De forma aguda, a atividade física, normalmente por meio de exercícios físicos, eleva por alguns minutos ou até horas pós-exercício o gasto energético, que depende da natureza da atividade (intensidade e duração), pelo efeito do consumo excessivo de oxigênio pós-exercício (EPOC) (LAFORGIA et al., 1997; WILLIAMS et al., 2013). Já de forma crônica, o exercício físico poderia ser capaz de induzir alterações no gasto energético por mudanças na massa magra, que é um dos melhores determinantes do GER, e que representa a maior parte de sua variância entre sujeitos (SOARES; MÜLLER, 2018; SPEAKMAN; SELMAN, 2003).

3.1.4 Métodos de avaliação do gasto energético

Dada a importância de conhecer os componentes do gasto energético e sua alta variabilidade entre os indivíduos, diversos métodos foram desenvolvidos para mensurar estes componentes que compõe o GET (LEVINE, 2005), nessa dissertação iremos abordar alguns desses métodos.

3.1.4.1 Água duplamente marcada

O método de água duplamente marcada (ADM) foi primeiramente descrita em 1982 por Schoeller e van Santen (1982). Esse método se baseia na mensuração das quantidades de água marcada por isótopos não radioativos de hidrogênio (^2H – deutério) e oxigênio (^{18}O) (SPEAKMAN, 1998). Através do consumo desses marcadores, os mesmos irão se misturar com a água corporal e, posteriormente, serão eliminados o deutério como água e o ^{18}O na forma de gás carbônico, que são os produtos naturais da oxidação dos macronutrientes (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). Essa mensuração normalmente é feita pela concentração dos isótopos na urina com o uso da técnica de espectrometria de massa. O desaparecimento diferencial dos dois isótopos fornece a medida da produção de gás carbônico. Com o auxílio do quociente respiratório, que é a razão entre gás carbônico expirado e o oxigênio inspirado, seja ele estimado ou quantificado por calorimetria indireta se é feito o cálculo do GET. O método de ADM pode ser usado para estimar o GET ao longo de 4 a 21 dias, sendo necessárias amostras pontuais de urina imediatamente antes do consumo dos isótopos e diariamente ou semanalmente depois do consumo, a depender do tempo do estudo da eliminação dos isótopos (LAM, RAVUSSIN, 2016; SPEAKMAN, 1998). Atualmente, o método de ADM é considerado o método padrão-ouro de mensuração do GET, pois este permite a mensuração sem confinamento, sem nenhuma modificação no cotidiano e sem necessidade de fixação de dispositivos no corpo (SPEAKMAN et al., 2019).

3.1.4.2 Calorimetria direta e indireta

É baseando-se no entendimento em que todos os processos metabólicos, que ocorrem em organismos, produzem calor e que todo organismo vivo é um sistema aberto, no qual existe troca de calor com o meio, que a técnica de calorimetria direta é construída. Outro ponto importante nos processos metabólicos, que acontecem nos organismos, é que estes necessitam em grande parte da participação de oxigênio e liberam gás carbônico, e

assim, fundamenta-se o método de calorimetria indireta (KENNY; NOTLEY; GAGNON. 2017).

O método de calorimetria direta é considerado o padrão-ouro para a mensuração de calor produzido por um organismo, no entanto, a calorimetria indireta é a mais utilizada para mensurar taxas de energia produzida, e, conseqüentemente, a oxidação de substratos (KENNY; NOTLEY; GAGNON. 2017). Ambas as técnicas podem ser utilizadas para mensurar o GEB, GER, ETA, gasto energético proveniente de atividade e o GET, sendo neste último necessário o confinamento do participante (LEVINE, 2005). A mensuração de calorimetria direta requer uma câmara, na qual o indivíduo é colocado, e se é mensurado o calor sensível liberado por seu organismo, além do vapor de água liberado pela pele e sua respiração (MELO; TIRAPEGUI; RIBEIRO, 2008). Já a análise por calorimetria indireta pode ser realizada por dois modos: por circuito fechado ou aberto. Na primeira, o indivíduo respira o ar com uma composição conhecida por meio de uma máscara ligada à um cilindro, e volta a respirar somente o ar do espirômetro. Enquanto que no circuito aberto, o indivíduo respira por uma válvula de duas vias, na qual por uma delas é inspirado o ar do ambiente, e por outra, o ar é expirado, coletado e analisado (MELO; TIRAPEGUI; RIBEIRO, 2008).

3.1.4.3 Acelerometria

A determinação do GET de indivíduos em condições de vida livre necessita de uma avaliação precisa, como já foi visto anteriormente. Mas métodos como a ADM são caros e requerem infraestrutura de análise bem consolidada, o que torna a aplicação dessa mensuração em larga escala inviável (WHITE et al., 2019). Como alternativa, sensores de movimento fixados no corpo, como acelerômetros, possuem o potencial de fornecer dados sobre a maior fonte de variabilidade do gasto energético, que é a atividade física (PLASQUI et al., 2013).

White et al (2019) ao avaliar 193 adultos do Reino Unido, com idade entre 40 e 66 anos e índice de massa corporal (IMC) entre 20,4 e 36,6 kg/m², com o objetivo de verificar a validade da intensidade de aceleração em locais de punho e coxa como estimativas de gasto energético proveniente de atividade física e GET em condições de vida livre usando dados de ADM, encontraram que esses equipamentos proveram

estimativas suficientemente precisas em adultos de vida livre, com viés médio entre -0,3 e -0,5.

Corroborando com esses achados, Macena et al. (2019), utilizando acelerômetros triaxiais fixados na coxa direita, que detectavam os movimentos nos eixos ântero-posterior, lateral e vertical, avaliando 45 mulheres com idade entre 19 e 45 anos, com excesso de peso ($IMC > 25$ e $< 40\text{kg/m}^2$), encontraram que o método de acelerometria também produziu boa concordância com método de ADM, com viés médio de -1,2% e coeficiente de correlação de concordância de 0,60.

3.1.4.4 Equações preditivas do gasto energético

Já o uso de equações preditivas do gasto energético é considerado simples, rápido e fácil, além de possuírem custo zero (FRANKENFIELD; ROTH-YOUSEY; COMPHER, 2005). Esse uso chama a atenção pela sua facilidade na aplicação, uma vez que comumente necessitam apenas da realização de operações matemáticas simples com algumas variáveis, como: sexo, idade, peso e altura (LEONARD, 2012). Seu uso é disseminado na prática clínica a muito tempo, uma vez que se data como primeira equação do gasto energético a produzida por Harris e Benedict (1919), que foi construída através de mensurações obtidas por calorimetria indireta.

Contudo, as equações preditivas de gasto energético parecem possuir precisão diferentes a depender do grupo em que são aplicadas, o que pode produzir erros significativos na estimação do GER ou GET. Uma hipótese levantada sobre essa discrepância na estimação do gasto energético entre equações preditivas e o mensurado por métodos mais robustos é baseada na observação de características individuais (por exemplo: idade, sexo, composição corporal e etnia) que diferem daquelas em que as equações foram baseadas (FRANKENFIELD; ROTH-YOUSEY; COMPHER, 2005). No entanto, como mostrado no estudo realizado por Macena et al (2019), que avaliou a concordância de 11 equações preditivas com o GET mensurado por ADM em mulheres brasileiras, as equações construídas com populações brasileiras apresentaram maiores valores de viés do que equações usadas amplamente em todo o mundo, como a de Harris e Benedict (1919) e a da *Food and Agriculture Organization* (2001).

3.2 MODELOS PARA DESCRIÇÃO DO GASTO ENERGÉTICO

A relação do gasto energético com a atividade física vem sendo estudada há muito tempo, no entanto, ainda se apresenta com dilemas e contradições sobre seu real comportamento.

3.2.1 Modelo linear (aditivo)

A descrição da relação do gasto energético com a atividade física por meio do modelo linear, aditivo ou modelo fatorial, propõe que essas duas variáveis assumem uma associação dependente de dose e reposta, sendo o mesmo utilizado para recomendações para o combate da obesidade (ABESO, 2016; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, 2001; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2010). Ou seja, à medida que existe um incremento da atividade física, existe um aumento correspondente do GET. No modelo linear, o estilo de vida e o meio ambiente possuem grande impacto nas diferenças observadas no GET, uma vez que se presume que populações industrializadas possuem hábitos mais sedentários e cargas mínimas de patógenos, o que aceleraria o estabelecimento do balanço energético positivo mais facilmente e, conseqüentemente, levaria ao ganho de peso (URLACHER et al., 2019; POPKIN; ADAIR, 2012). Em suma, nesse modelo, o aumento da atividade física não geraria modificações nos componentes do gasto energético não proveniente de atividade física, sendo o aumento observado no GET advindo apenas do aumento do gasto energético proveniente de atividade física, como demonstrado na Figura 1a (PONTZER, 2015).

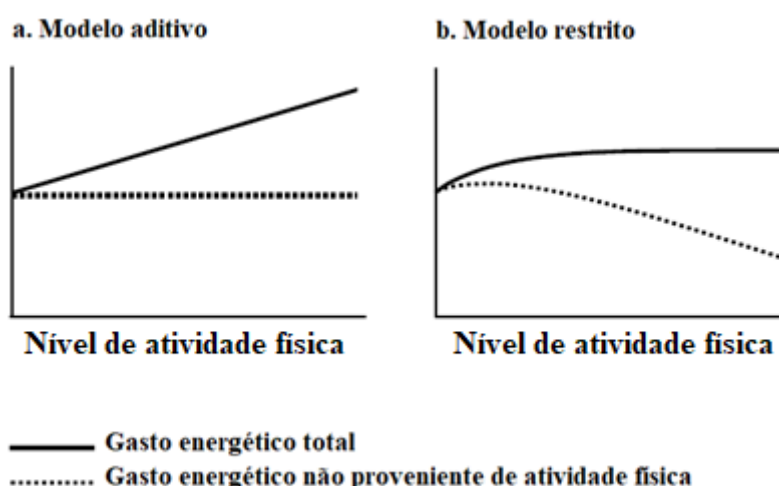


Figura 1. Descrição do gasto energético total pelos modelos linear (A) e não-linear (B).

Fonte: Adaptada de Pontzer (2015).

3.2.2 Modelo não-linear (restrito)

Pontzer (2015) em uma revisão propõe a hipótese de um segundo modelo para descrição do GET, na qual foi investigada as evidências empíricas de estudos em que se eram observados o GET mensurado por ADM e sua relação com a atividade física em humanos e outras espécies de animais. Esse segundo modelo é chamado de *constrained*, aqui traduzido como restrito ou não-linear. Nessa proposta de modelo não-linear, o gasto energético não proveniente de atividade física se adapta dinamicamente às variações de atividade física para manter o GET dentro de uma faixa homeostática estreita, como pode ser visto na Figura 1b (PONTZER, 2015).

Para testar a adequação do modelo de gasto energético restrito, Pontzer et al (2016) realizou um estudo com 332 indivíduos de ambos os sexos, com classificações diversas de peso corporal e de cinco países diferentes (África do Sul, Estados Unidos, Gana, Jamaica e Seicheles), mensurando dados de GET mensurado por ADM e NAF por acelerômetros. Nesse estudo, Pontzer et al (2016) concluiu que: 1. a relação do GET e da atividade física é mais complexa que a prevista no modelo aditivo; 2. as abordagens propostas no modelo aditivo tendem a subestimar o efeito da atividade física sobre o GET em níveis de atividade baixos a moderados e superestimar o efeito da atividade física em níveis de atividade mais elevados; e 3. o efeito da atividade física sobre o GET não se apresentou de forma linear, apresentando um platô após certo aumento da atividade física.

Três estudos até o momento investigaram a relação do GET e a atividade física em diferentes contextos, sendo o de Pontzer et al (2016) um deles, que foi descrito no parágrafo anterior (PONTZER et al., 2016; 2019; URLACHER et al., 2019; WILLIS et al., 2022).

Willis et al (2022) avaliando 584 adultos e idosos (50 a 70 anos) dos Estados Unidos observaram o encontro de uma relação positiva e linear entre o GET e a atividade física mensurada em contagens por minuto/dia (em inglês, *counts per minutes/day*, *CPM/d*). No entanto, ao realizarem análises secundárias dividindo os indivíduos por balanço energético (positivo, em equilíbrio e negativo) categorizado por mudanças no peso corporal após 6 meses a mensuração por ADM, os achados divergiram. Os indivíduos que estavam em balanço energético positivo e em equilíbrio mantiveram a

relação linear e positiva observada na análise principal. Contudo, os indivíduos que estavam em balanço energético negativo apresentaram a relação entre o GET e atividade física como descrita pelo modelo não-linear (WILLIS et al., 2022). Os autores discutem que possíveis divergências encontradas entre esse estudo e o de Pontzer et al. (2016) seriam devido às populações de locais diferentes e menos ativas, a idade dos indivíduos recrutados e os diferentes dispositivos de mensuração para estimar a atividade física (Actigraph vs. Actical) (WILLIS et al., 2022).

Já o estudo de Urlacher et al (2019) foi realizado com 84 crianças (5 a 12 anos), sendo 44 Shuaras forrageiras-horticultor da Amazônia equatoriana, e 40 provenientes de populações industriais dos Estados Unidos e Reino Unido, no qual foram usados acelerômetros triaxiais para mensurar o NAF e ADM para o GET. Nesse, os autores conseguiram observar que apesar das crianças Shuaras serem 25% mais ativas e, em associação com a atividade imunológica, possuem aproximadamente 20% maior GER do que crianças de populações industriais, o GET nos dois grupos não se mostrou diferente.

Essa adaptação do GET a níveis mais altos de atividade física, descrita no modelo não-linear, pode ser explicada por mecanismos evolutivos das espécies, sendo apontado os efeitos de disponibilidade de energia advinda dos alimentos e o gasto energético para manutenção da vida, diminuição do reparo somático, retardo no crescimento e diminuição da atividade e liberação de hormônios reprodutivos em resposta à níveis mais altos de atividade física (DEERENBERG; OVERKAMP, 1999; PERRIGO, 1987; PERRIGO; BRONSON, 1983; WESTERTERP, 2010; WIERSTMA, VERHULST, 2005). Além disso, alguns estudos já apontam hipóteses que a descrição da relação colocada pelo modelo não-linear pode ser devida adicionalmente por adaptações comportamentais (como aumento do tempo sentado e diminuição do movimento dos braços) e fisiológicas (aumento da eficiência muscular e diminuição das taxas metabólicas dos tecidos não musculares) (FERNÁNDEZ-VERDEJO et al., 2021; WILLIS et al., 2022).

4 ARTIGO DE RESULTADO

MACENA, ML; HOFFMAN, DJ; CLEMENTE, APG; FERRIOLLI E; PFRIMER, K; FLORÊNCIO, TMMT; BUENO, NB. **The relationship between total energy expenditure and physical activity in low-income women living in an impoverished Brazilian urban area.** Submetido ao periódico Nutrition (Classificação A1, segundo os critérios do sistema Qualis da CAPES/Área de Nutrição).

The relationship between total energy expenditure and physical activity in low-income women living in an impoverished Brazilian urban area

Mateus de Lima Macena^a; Daniel J Hoffman^b; Ana Paula Grotti Clemente^a; Eduardo Ferriolli^c, Karina Pfrimer^{c,d}; Telma Maria de Menezes Toledo Florêncio^a; Nassib Bezerra Bueno^a

^aFaculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brazil.

^bDepartment of Nutritional Sciences, Program in International Nutrition, and the New Jersey Institute for Food, Nutrition, and Health, Center for Childhood Nutrition Education and Research, Rutgers University, New Brunswick, New Jersey, United States.

^cFaculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil.

^dCurso de Nutrição, Universidade de Ribeirão Preto, Ribeirão Preto, São Paulo, Brazil.

Corresponding Author:

Nassib Bezerra Bueno; Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 57072-900, Brazil, Zip Code: 57072-970.

Phone: +55 (82) 999766895 | Fax: +55 (11) 55739525

E-mail: nassib.bueno@fanut.ufal.br

ABSTRACT

Objective: The association between total energy expenditure (TEE) and physical activity level (PAL) seems to be more complex than a linear relationship. The aim of this study was to determine the relationship between the TEE and the PAL of women living in low-income regions.

Methods: Anthropometric, hormonal, body composition (deuterium), TEE (doubly labelled water) and PAL (metabolic equivalent task (MET) – triaxial accelerometer, ActivPAL) data were collected from fifty-five women (mean age: 31 years, mean BMI: 27.4 kg/m²). Adjusted-TEE models were calculated incorporating the residuals of these variables in the TEE, to assess the relation between MET and adjusted-TEE, through 3 different analyzes: linear regression, non-linear regression and change point regression.

Results: There was a positive linear relationship between adjusted-TEE and MET ($\beta = 16.10$ kcal; 95%CI: 2.59; 29.60; adj-R² = 0.08). The change point was identified in the MET value of 256.50 (SD = 4.46; adj-R² = 0.13). The association between adjusted-TEE and MET before the change point ($\beta = 30.36$ kcal; 95%CI: 5.82; 54.90; adj-R² = 0.11) was stronger than the association in the linear model, and this association stop existing when it is assessed in individuals after the change point ($\beta = -39.34$ kcal; 95%CI: -99.84; 21.15; adj-R² = 0.08).

Conclusion: These results suggest that the relationship between TEE and PAL is not completely linear in low-income women living in an impoverished Brazilian urban area.

Keywords: Additive model; Constrained model; Doubly labelled water; Low-income population; Physical activity; Total energy expenditure

INTRODUCTION

Energy imbalance is required to elicit chronic weight gain or loss, and it is of interest to better understand the role of activity in promoting negative energy balance, especially considering that the prevalence of obesity in adults worldwide nearly tripled between 1975 and 2016 [1-3]. Due to the high rates of violence found in urban areas of developing countries, the practice of physical exercise in open spaces becomes unfeasible for this population. Furthermore, low-income neighborhoods are less likely to contain open public physical activity facilities, weakening the residents of these regions to the risks arising from a sedentary lifestyle and, consequently, obesity [4,5]. Studies based on the measurement of total energy expenditure (TEE) and physical activity through objective and reliable methods are extremely necessary to combat obesity in this population.

The negative energy balance necessary for weight loss can be obtained by energy restriction or by increased activity, promoting greater TEE [6-9]. The use of activity to obtain a negative energy balance is based on the additive model of the TEE, that is, the level of physical activity (PAL) increases, the TEE also increases [10]. Untrained individuals, when they experience an increase in their PAL, present considerable increases in the activity energy expenditure, however, this increase seems to have a limit, not showing itself to be linear over time and in an indiscriminate way [11]. This is due to the increase in energy savings induced by training, implying the maintenance of the TEE at a higher PAL as shown by Pontzer et al. (2016). Thus, possibly, the effects of interventions based on increasing the PAL would attenuate over time. So far, only one study has directly tested the hypothesis of the suitability of a non-linear model, which was carried out with adults in five countries [12].

Given the ongoing obesity epidemic throughout the world, it is of great importance to understand how the PAL of individuals relates to TEE, to better guide interventions that aim to establish a negative energy balance, such as those to combat obesity. As well, understanding how PAL influence TEE is relevant for clinical practice as there is a need to verify which model is more suitable in other populations with different physical characteristics. The aim of this study was to determine the relationship between the TEE and the PAL of low-income women living in an impoverished Brazilian urban area.

METHODS

ETHICAL ASPECTS

This study was submitted to and approved by the Research and Teaching Ethics Committee of Centro Universitário Cesmac, under protocol number 1588/12. All participants read and signed the informed consent form.

STUDY DESIGN

This is a cross-sectional study in which the collections were carried out in July 2013.

LOCATION AND STUDY POPULATION

Sampling was non-probabilistic for convenience. The study included adult women aged between 19 and 45 years, with a body mass index (BMI) ≥ 18.5 kg/m², who were mothers or caregivers of children with short stature treated at the Center for Recovery and Nutritional Education (CREN), which is located in the region with the lowest Human Development Index in the municipality of Maceió-Alagoas. Pregnant women, lactating women, who had a physical condition that would make it impossible to perform anthropometric assessment and who did not have a stable body weight in the last month or during the period of TEE assessment using doubly labelled water (DLW) were not

included. Those who were on chronic medication use (e.g., antidiabetics, diuretics or thyroid hormone replacement) or who performed physical exercises, such as weight training, were also not included.

VARIABLES AND MEASURING INSTRUMENTS

Sociodemographic data

Data on age and years of schooling were collected through a questionnaire previously structured by the research team.

Anthropometric assessment

Body weight was measured using a digital scale (Filizola, São Paulo, Brazil), and height using a portable stadiometer. BMI was calculated by dividing body weight by height squared and classified as suggested by the World Health Organization (1995) [13].

Hormonal analysis

Study participants were instructed to fast for 12 hours for blood collection. The samples were collected by peripheral venipuncture performed at CREN, and subsequently analyzed in a local laboratory. The chemiluminescence technique (Unissel DxI 800 from Beckman Coulter) was used to determine serum levels of insulin, thyroid stimulating hormone (TSH), free triiodothyronine (FT₃) and free thyroxine (FT₄).

Total energy expenditure and body composition

According to the recommendations of the International Dietary Energy Consultancy Group, the participants' TEE was measured using the DLW multiple point technique (²H₂¹⁸O) [14]. All women received a single dose of DLW. The DLW dose was formulated considering the estimated total body water of the included women and was composed of 0.12g of water marked with 99.8% of ²H and 2g of 10% of water marked with ¹⁸O/kg of estimated body water. Body water is assumed to represent 50% of women's body weight [15]. Then, urine samples were collected from each participant on the 1st,

2nd, 3rd, 7th, 12th, 13th and 14th days after dose administration. These samples were used to compare the enrichment of the baseline sample, being necessary for the calculation of the isotope dilution spaces and the TEE. The enrichment of the samples collected 14 days after dosing was used to plot the elimination rate of ^2H and ^{18}O , being calculated according to Speakman (1998) [16]. An average respiratory quotient of 0.85 was assumed to calculate the TEE. In addition, the water used for consumption was collected and analyzed, and all calculations were adjusted for the isotope content in drinking water. The isotopic analysis of the samples by the isotopic ratio of mass spectrometry for ^{18}O (ANCA 20-20; Europe Scientific) and for ^2H (ANCA 20-22; Sercon) was performed at the Mass Spectrometry Laboratory of the Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, accredited by the International Atomic Energy Agency.

As proposed by Schoeller (1988), the determination of body composition occurred from formulas to obtain the water dilution spaces of the stable isotopes in relation to the baseline values. The determination of the fat-free mass (FFM) considered the hydration constant of this tissue composed of 73.2% water. Total body fat (BF) was obtained by subtracting FFM from body mass [17].

Physical activity level

PAL was measured using triaxial accelerometers (ActivPAL, Glasgow, UK) that detect body movements in three axes (anteroposterior, lateral and vertical). The use of this equipment has been validated in adults, showing reliable measurement in activities of posture and movement, and walking, with an error percentage of 1%, regardless of the walking speed [18,19]. In addition, accelerometers are accurate in the classification of activity intensity categories for healthy adults and have been used as a criterion measure for validity of studies of sitting and standing, sedentary behavior and activities of light intensity [20-22]. The accelerometers were fixed at the midpoint between the inguinal

line and the upper edge of the patella, exactly in the anterior muscles of the right thigh with the aid of two waterproof and hypoallergenic adhesives (TegaDerm®, 3M). The equipment was placed at CREN during the measurement period of the DLW, from which each participant was advised not to remove it, regardless of the activity they were carrying out. The women used the accelerometers for 7 days (168h) in a row and the measured data were transferred and analyzed by the ActivPAL3™ software, so that it was possible to determine the intensity and duration of each category of activities (sitting/lying time, standing time, walking time). This software also provides an estimated metabolic equivalent task value (MET.h) for the entire period in which the participants used the device, multiplying the MET value for each activity by the duration of the activity, based on the standard values: lying/sitting (1.25 MET), standing (1.40 MET) and walking at 120 steps per minute (4 MET). For cadences that differ from 120 steps per minute, the following equation is used to calculate the MET estimate: $\text{MET.h} = (1.4 \times d) + (4 - 1.4) \times (c/120) \times d$ whose value of c corresponds to the cadence (steps per minute), and d the duration of the activity (in hours) [23]. The MET value expressed by the accelerometer analysis is closely related to the concept of physical activity ratio (TEE/resting energy expenditure) [6]. This method has already shown that its estimates generate good agreement with the TEE measured by DLW, in a study carried out by the research group in the same sample as this study (Bias = -1.2%; Correlation coefficient of agreement = 0.6) [24].

STATISTICAL ANALYSIS

Continuous variables were exposed as mean and standard deviation, while categorical variables were presented in frequencies. Multivariable regressions were conducted to reduce the residual effect of the TEE variability taking into account the exposure variables, separated into blocks: biological (body weight, age and height),

hormonal (insulin, TSH, FT₄ and FT₃) and body composition (FFM and BF) to verify the effect of these variables on the TEE. For models in which body composition was not included, body weight was added as a covariate, as suggested by Allison et al. (1995) and Poehlman and Toth (1995), so that it was possible to control for different body weights of the participants in the TEE variability [25,26]. Finally, a model was created to obtain the greatest predictive capacity of the TEE using the variables that had the greatest predictive capacity in each block. Prediction ability was assessed using the determination coefficient (adjusted R²).

To incorporate the influence of these variables on the TEE, we calculated the TEE adjusted by the residuals, which was the result of the gross TEE added to the non-standardized residuals of the previously described models, thus, it is possible to reduce the degree of residual confusion to assess the impact of MET on TEE.

In order to verify the relationship between the dependent variable (adjusted TEE) and the MET, three different regression models were constructed on the scatter plot between these variables. First, to verify the additive model, a simple linear regression was performed between the dependent variables and MET. In addition, we performed an analysis to assess the MET threshold, which represents the MET value in which the relation between MET and adjusted TEE ceases to be linear. For that, we performed 46 linear regressions between the two variables to calculate the effect size (β and confidence interval). In each linear regression performed, the data of the participant with the lowest MET in the sample was excluded (example: 1st = df54, 2nd = df53 ... 46th = df9), with the first regression being performed with the total sample and the last with 10 participants, and in this way, consequently, the average value of MET increased with each stage. Subsequently, we performed the locally weighted scatterplot smoothing (LOWESS) method, the result of a non-linear regression. Finally, we used point of change regression

to estimate the association between the MET and the dependent variables. This regression is used to indicate the plateau in the relationship between MET and adjusted TEE, that allows to estimate a point of change, from linear/additive increase, to plane/plateau. Then, we compare the adjusted R^2 of the segmented and linear regressions to see if there is a difference in the capacity of determination between the models. This approach was similarly used in the study by Pontzer et al (2016) [12]. We adopted a value for α of 5% and all analyzes were performed using the statistical software R v. 3.6.1, with the package “Rcmdr”, “ggplot2” and “segmented” [27-29].

RESULTS

A flowchart of the inclusion and selection of participants can be seen in Figure 1. Of the total sample ($n=55$), 18 (32.73%) women were classified as normal weight, 22 (40.00%) as overweight and 15 (27.27%) as obese. The other characteristics of the sample can be seen in Table 1

A summary in Table 2 presents five models verifying which variables are related to the TEE. Before introducing the hormonal variables in the Model 3 adjusted-TEE, we included all the hormones analyzed in the present study, however, the inclusion of TSH and FT₄ decreased the predictive capacity of the model. Therefore, Model 3 adjusted-TEE included only data on the hormones insulin and FT₃, however, it was not possible to observe a change in the coefficient of determination in relation to the Model 2 adjusted-TEE. The inclusion of the FFM and BF variables, and the removal of BW in Model 4 adjusted-TEE was able to explain 19.00% more of the TEE, compared to Model 3 adjusted-TEE. Finally, when analyzing the variables with the best ability to explain the TEE in each block, we created the Model 5 adjusted-TEE (adjustment for the variables age, FT₃, insulin, FFM and BF), which showed an adjusted determination coefficient of 51.00%. All models showed a significant association with TEE.

MET.h was shown to be linearly associated with Model 5 adjusted-TEE (adjusted- $R^2 = 0.08$; $\beta = 16.10$ kcal; 95% CI: 2.59; 29.60; $p = 0.02$) (Figure 2).

In Figure 3, the effect of the Total MET.h threshold on the Model 5 adjusted-TEE is shown. From the moment we included only individuals above the df52 threshold, with 53 participants and an average MET.h of 248.03 or an average MET/h of 1.48, the relationship between MET.h and the Model 5 adjusted-TEE is no longer significant ($\beta = 13.99$ kcal; 95% CI: -0.53; 28.53; $p = 0.05$).

The change point identified in the relationship between Model 5 adjusted-TEE and MET.h was 256.50 MET.h (SE = 4.46; adjusted- $R^2 = 0.13$), indicating a better predictive power of the non-linear model (adjusted- $R^2 = 0.13$) than the additive model (adjusted- $R^2 = 0.08$). When we evaluate the 1st slope, which refers to the relationship before the change point, we observe a significant β coefficient of MET.h in Model 5 adjusted-TEE of 30.36 kcal (95%CI: 5.82; 54.90; $p = 0.01$; adjusted- $R^2 = 0.11$), while 2nd slope, after change point, the observed β coefficient of -39.34 kcal (95%CI: -99.84; 21.15; $p = 0.18$; adjusted- $R^2 = 0.08$) was not significant.

DISCUSSION

The global prevalence of obesity continues to remain high with millions of adults and children being diagnosed with a number of metabolic pathologies associated with excess fat mass [2]. Thus, there is a great public health need to understand the role of physical activity in promoting a negative energy balance to counter obesity. We found that participants in this study have a positive linear relationship between TEE adjusted for age, insulin, FT₃, FFM and BF, and MET.h. However, the magnitude of the association of this additive model with all individuals is less than when compared with the association between these variables considering only individuals before the change point. As well, the association between the adjusted TEE and MET.h cease to exist when

assessed in individuals after the change point. Thus, it can be observed that the relationship between TEE and MET.h is not completely linear, showing that the additive model may not be adequate to describe the TEE of the present sample.

The maintenance of TEE within a narrow range as the PAL increases is considered an evolutionary trait among several species of animals, the same being also observed in humans [30]. This hypothesis was presented by Pontzer et al. (2016) in which 332 individuals of both sexes, from five different countries and different BMI categories, to identify the suitability for the non-linear model [12]. As in the study by Pontzer et al. (2016) [12], the present investigation found that before the change point identified in the analyzes between the Model 5 adjusted-TEE relationship and MET.h, the effect of a physical activity marker on TEE seems to be underestimated in additive models, and subsequently theoretically compensated for higher PAL.

The non-linear TEE model attributes the achievement of a TEE plateau as the marker for physical activity increases to a decrease in non-energy expenditure physical activity caused by decreased reflex of the observed reproductive hormonal activity both in non-human animals and in humans, when they experience higher PAL [31-33]. This can also be seen, for example, in women athletes who have their menstrual cycle normalized after decreasing their energy expenditure even without showing changes in weight and body composition [34,35]. Another explanation for the application of the non-linear model for the description of TEE in humans is raised by Sanchez-Delgado et al. (2016), in which an increase in the activity of brown adipose tissue is found in individuals who have low PAL, while the same activity is reduced in response to physical exercise performed by conditioned or very active individuals [36].

Such findings suggest care should be used in the application of interventions based on the increase of PAL for the structuring of coping with obesity. Several guides and

consensuses for the treatment of obesity encourage the practice of physical activity as the primary intervention of this chronic disease [37-40]. Despite the health benefits of physical activity being well established, since studies show a reduction in risk for cardiovascular diseases, diabetes and cardiometabolic risk factors [41,42], the impact of the increase in PAL on the components of energy expenditure does not appear to be effective, after a determined PAL, which appears to be around 1.48 MET.h/day, which is equivalent to the low-active lifestyle profile according to the Institute of Medicine (2005) [1], which provides, in this classification, activities such as a 3.5 km/day walking at the speed of 4.8 to 6.4 km/h performed by an adult weighing 70 kg. As shown in Figure 3, the physical activity marker, MET.h, does not appear to have a robust linear association with the Model 5 adjusted-TEE, with a significant association being observed only at the thresholds df54 and df53.

According to our findings, the practice of physical exercise was studied as a possible increase in resting energy expenditure, either acutely due to the effect known as excessive consumption of O₂ post-exercise or in a chronic way by providing changes in lean mass [1,43]. The same absence of difference in energy expenditure also seems to occur in studies that carried out randomized clinical trials with interventions based on the practice of physical exercises [44-46]. These findings lead us to reflect on whether the behavior of the TEE as the PAL is increased would be due to a decrease in resting energy expenditure, as recommended by Pontzer (2015) [30], requiring further studies to assess all components of energy expenditure as the PAL increases.

Our study has some limitations that are worth discussing to fully appreciate the data presented. First, the triaxial accelerometers used to measure the PAL do not allow the observation of the impact of possible physical activity practices with the help of weights or that were related to the upper limbs. However, the use of triaxial

accelerometers has high precision and they have been validated for the measurement of habitual physical activity [47]. Furthermore, it should be noted that our study has a cross-sectional design, and longitudinal studies are needed to assess the effects of increasing PAL on TEE, which would allow a change in point of view from inter-individuals to intra-individuals. Lastly, our investigation was not primarily built to test the hypothesis raised in the present study. However, due to the great scarcity of studies on the possible application of the non-linear model to describe the TEE of individuals, mainly in populations with low economic class, our study contributes to the body of scientific and points to more investigations on the topic to be carried out.

Based on the results of our study, we conclude that in the present sample the non-linear model seems to be more suitable for describing the TEE of low-income women living in an impoverished Brazilian urban area than the linear model. We also highlight that the association presented by the physical activity marker, MET.h, in the TEE appears to be minimal, suggesting that the comprehensive recommendations on increasing PAL for the treatment of obesity, via a supposed increase in TEE, should be made carefully, since that this linear and additive relationship appears to be true only up to a certain amount of physical activity. The findings clearly indicate that practicing physical activity should be the recommendation for all individuals, since it is superior to physical inactivity on several fronts. However, what does not seem to be advisable is the continuous increase in PAL as a way to further increase the TEE, after a certain point.

Conflict of interest:

The authors declare that they have no conflict of interest.

Author contributions:

Study concept and design: MM, NB. Acquisition of data: AC, KP, EF, TF. Analysis and interpretation of data: MM, NB, DH. Drafting the manuscript: MM, NB. Critical revision of the manuscript: AC, KP, EF, TF, DH, NB. Funding acquisition: TF.

Funding statement:

The present study was supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, grant no. 552194/2011-5), and by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brazil (CAPES) research fellowships (grant number: 23065.005919/2021-75). The sponsors had no role in the design and analysis of the study or in the writing of this article.

REFERENCES

- [1] Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: National Academies Press; 2005.
- [2] World Health Organization. Obesity and overweight, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight/>; 2021 [accessed 09 July 2021].
- [3] Archer E, Lavie CJ, Hill JO. The contributions of “diet”, “genes”, and physical activity to the etiology of obesity: contrary evidence and consilience. *Prog Cardiovasc Dis.* 2018;61:89-102.
<https://doi.org/10.1016/j.pcad.2018.06.002>
- [4] Booth GL, Creatore MI, Moineddin R, Gozdyra P, Weyman JT, Matheson FI, et al. Unwalkable neighborhoods, poverty, and the risk of diabetes among recent immigrants to Canada compared with long-term residents. *Diabetes Care.* 2013;36:302-8. <https://doi.org/10.2337/dc12-0777>

- [5] Manta SW, Reis RS, Benedetti TR, Rech CR. Public open spaces and physical activity: disparities of resources in Florianópolis. *Rev Saúde Pública*. 2019;53:112. <https://doi.org/S1518-8787.2019053001164>
- [6] Food and Agriculture Organization. Food and nutrition technical report series. Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Rome; 92p; 2001.
- [7] Westerterp KR. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117:1277-85. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3641-x>
- [8] Wharton S, Lau DC, Vallis M, Sharma AM, Biertho L, Campbell-Scherer D, et al. 2020. Obesity in adults: a clinical practice guideline. *CMAJ*. 2020;192:E875-E891. <https://doi.org/10.1503/cmaj.191707>
- [9] World Health Organization. Global recommendations on physical activity for health. Geneva: World Health Organization, 60p; 2010.
- [10] Washburn RA, Lambourne K, Szabo AN, Hermann SD, Honas JJ, Donnelly JE. Does increased prescribed exercise alter non-exercise physical activity/energy expenditure in healthy adults? A systematic review. *Clin Obes*. 2014;4:1-20. <https://doi.org/10.1111/cob.12040>
- [11] Westerterp KR. Control of energy expenditure. *Eur J Clin Nutr*, 2017;71:340-4. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.237>
- [12] Pontzer H, Durazo-Arvizu R, Dugas LR, Plange-Rhule J, Bovet P, Forrester TE, et al. Constrained total energy expenditure and metabolic adaptation to physical activity in adult human. *Curr Biol*. 2016;26:410-7. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.12.046>

- [13] World Health Organization. Physical status: Report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation The use and interpretation of anthropometry – Report of a WHO Expert Committee WHO Technical Report Series, 854. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 1995.
- [14] Coward WA, Roberts SB, Cole TJ. Theoretical and practical considerations in the doubly labelled water ($2\text{H}_2(18)\text{O}$) method for the measurement of carbon dioxide production rate in humans. *Eur J Clin Nutr*, 1998;42:207-12.
- [15] International Atomic Energy Agency. Assessment of body composition and total energy expenditure in humans using stable isotope techniques. Vienna: IAEA Human Health Related Publications; 2009.
- [16] Speakman JR. The history and theory of the doubly labeled water technique. *Am J Clin Nutr*. 1998;68:932S-938S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.4.932S>
- [17] Schoeller DA. Measurement of energy expenditure in free-living humans by using doubly labeled water. *J Nutr*, 1988;118:1278-89.
<https://doi.org/10.1093/jn/118.11.1278>
- [18] Grant PM, Ryan CG, Tigbe WW, Granat MH. The validation of a novel activity monitor in the measurement of posture and motion during everyday activities. *Br J Sports Med*. 2006;40:992-7.
<https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.030262>
- [19] Ryan CG, Grant PM, Tigbe WW, Granat MH. The validity and reliability of a novel activity monitor as a measure of walking. *Br J Sports Med*. 2006;40:779-84. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2006.027276>
- [20] Kozey-Keadle S, Libertine A, Lyden K, Staudenmayer J, Freedson PS. Validation of wearable monitors for assessing sedentary behavior. *Med Sci*

Sports Exerc. 2011;43:1561-7.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820ce174>

- [21] Lyden K, Kozey-Keadle S, Staudenmayer J, Freedson PS. The activPAL™ accurately classifies activity intensity categories in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 2017;49:1022-8.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001177>

- [22] van Nassau F, Chau JY, Lakerveld J, Bauman AE, van der Ploeg HP. Validity and responsiveness of four measures of occupational sitting and standing. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2015;12:144.

<https://doi.org/10.1186/s12966-015-0306-1>

- [23] Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, O'Brien WL, et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc*, 2020;32:S498-504.

<https://doi.org/10.1097/00005768-200009001-00009>

- [24] Macena ML, Pureza IR, Melo IS, Clemente AG, Ferreira HS, Florêncio TM, et al. Agreement between the total energy expenditure calculated with accelerometry data and the BMR yielded by predictive equations v. the total energy expenditure obtained with doubly labelled water in low-income women with excess weight. *Br J Nutr*. 2019;122:1398-408.

<https://doi.org/10.1017/S0007114519002460>

- [25] Allison DB, Paultre F, Goran MI, Poehlman ET, Heymsfield SB. Statistical considerations regarding the use of ratios to adjust data. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1995;19:644-52.

- [26] Poehlman ET, Toth MJ. Mathematical ratios lead to spurious conclusions regarding age-related and sex-related differences in resting metabolic-rate. *Am J Clin Nutr.* 1995;61:482-5. <https://doi.org/10.1093/ajcn/61.3.482>
- [27] Fox J. The R commander: a basic Statistics graphical user interface to R. *J Stat Software* 2005;14:1e42.
- [28] Muggeo VM. Segmented: an R Package to Fit Regression Models with Broken-Line Relationships. *R News.* 2008;28:20–25. <https://cran.r-project.org/doc/Rnews/>.
- [29] Wickham H. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, ISBN 978-3-319-24277-4. 2016.
- [30] Pontzer H. Constrained total energy expenditure and the evolutionary biology of energy balance. *Exerc Sport Sci Rev*, 2015;43:110-6. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000048>
- [31] Ellison PT. Energetics and reproductive effort. *Am J Hum Biol*, 2003;15:342-51. <https://doi.org/10.1002/ajhb.10152>
- [32] Perrigo G, Bronson FH. Foraging effort, food intake, fat deposition and puberty in female mice. *Biol Reprod.* 1983;29:455-63. <https://doi.org/10.1095/biolreprod29.2.455>
- [33] Wiersma P, Verhulst S. Effects of intake rate on energy expenditure, somatic repair and reproduction of zebra finches. *J Exp Biol.* 2005;208:4091-8. <https://doi.org/10.1242/jeb.01854>
- [34] Fontana R, Torre SD. The deep correlation between energy metabolism and reproduction: a view on the effects of nutrition for women fertility. *Nutrients.* 2016;8:87. <https://doi.org/10.3390/nu8020087>

- [35] Loucks AB. Energy availability, not body fatness, regulates reproductive function in women. *Exerc Sport Sci Rev.* 2003;31, 144-8.
<https://doi.org/10.1097/00003677-200307000-00008>
- [36] Sanchez-Delgado G, Martinez-Tellez B, Gil A, Ruiz JR. Is brown adipose tissue-mediated adaptive thermogenesis the missing component of the constrained total energy expenditure model? *Ann Nutr Metab.* 2016;69:51-3.
<https://doi.org/10.1159/000448257>
- [37] Associação Brasileira para Estudo da Obesidade e Síndrome Metabólica. Diretrizes brasileiras de obesidade. ABESO; 188p; 2016.
- [38] Garvey WT, Mechanick JI, Brett EM, Garber AJ, Hurley DL, Jastreboff AM, et al. American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology Comprehensive Clinical Practice Guidelines for Medical Care of Patients with Obesity. *Endocr Pract.* 2016;22Suppl 3:1-203.
<https://doi.org/10.4158/EP161365.GL>
- [39] Schutz DD, Busetto L, Dicker D, Farpour-Lambert N, Pryke R, Toplak H, et al. European Practical and Patient-Centred Guidelines for Adult Obesity Management in Primary Care. *Obes Facts.* 2019;12:40-66.
<https://doi.org/10.1159/000496183>.
- [40] Yumuk V, Tsigos C, Fried M, Schindler K, Busetto L, Micic D, et al. Obesity Management Task Force of the European Association for the Study of Obesity. European Guidelines for Obesity Management in Adults. *Obes Facts.* 2015;402-24.
- [41] Oktay AA, Lavie CJ, Kokkinos PF, Parto P, Pandey A, Ventura HO. The interaction of cardiorespiratory fitness with obesity and the obesity paradox

in cardiovascular disease. *Prog Cardiovasc Dis.* 2017;60, 30-44.

<https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.05.005>

- [42] Sui X, Sarzynski MA, Lee D, Kokkinos PF. Impact of changes in cardiorespiratory fitness on hypertension, dyslipidemia and survival: an overview of the epidemiological evidence. *Prog Cardiovasc Dis.* 2017;60:56-66. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2017.02.006>
- [43] Speakman JR, Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proc Nutr Soc.* 2003;62:621-34. <https://doi.org/10.1079/PNS2003282>.
- [44] Bonfante IL, Chacon-Mikahil MP, Brunelli DT, Gáspari AF, Duft RG, Lopes WA, et al. Combined training, FNDC5/irisin levels and metabolic markers in obese men: A randomised controlled trial. *Eur J Spor Sci.* 2017;17:629-37. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1296025>
- [45] Gomersall SR, Maher C, English C, Rowlands AV, Dollman J, Norton K, et al. Testing the activitystat hypothesis: A randomised controlled trial. *BMC Public Health.* 2016;16:900. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3568-x>
- [46] Miller T, Mull S, Aragon AA, Krieger J, Schoenfeld BJ. Resistance training combined with diet decreases body fat while preserving lean mass independent of resting metabolic rate: A randomized trial. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2018;28:46-54. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2017-0221>
- [47] Lee I, Shiroma EJ. Using accelerometers to measure physical activity in large-scale epidemiological studies: issues and challenges. *Br J Sports Med.* 2014;48:197-201. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093154>

Table 1. Sample characteristics (n = 55)

Variables	Mean	Standard deviation
Age (years)	31.03	5.42
Scholarity (years)	6.98	3.34
Body mass (kg)	66.47	12.26
Height (cm)	155.72	7.64
BMI (kg/m ²)	27.47	4.59
FFM (kg)	38.14	5.38
BF (kg)	28.33	8.10
% BF	41.98	5.93
TEE (kcal/d)	2118.05	361.75
Number of steps (per day)	11078.73	3800.06
Sitting/lying down time (h/d)	15.07	1.81
Standing time (h/d)	6.48	1.51
Walking time (h/d)	2.44	0.75
MET.h	247.34	10.70
Insulin (mUI/L)	9.80	11.98
TSH (μUI/mL)	1.81	1.22
FT ₄ (ng/dL)	9.51	2.21
FT ₃ (ng/mL)	1.25	0.26

BMI: body mass index; BF: Body fat; FFM: fat-free mass; FT₃: free triiodothyronine; FT₄: free thyroxine; MET.h: metabolic equivalent task; TEE: total energy expenditure; TSH: thyroid stimulating hormone.

Table 2. Parameters of the models for the multivariate analysis of total energy expenditure (n = 55)

Variables	Model 1 adjusted-TEE		Model 2 adjusted-TEE		Model 3 adjusted-TEE		Model 4 adjusted-TEE		Model 5 adjusted-TEE	
	Adjusted R ² = 0.26		Adjusted R ² = 0.31		Adjusted R ² = 0.31		Adjusted R ² = 0.50		Adjusted R ² = 0.51	
	p < 0.01		p < 0.01		p < 0.01		p < 0.01		p < 0.01	
	AIC = 791; BIC = 797		AIC = 790; BIC = 800		AIC = 791; BIC = 805		AIC = 774; BIC = 790		AIC = 772; BIC = 786	
	β	95% CI	β	95% CI	β	95% CI	β	95% CI	β	95% CI
Constant	1088.37	621.20; 1555.54	-825.40	-2678.81; 1028.01	-891.39	-2910.81; 1128.01	-329.11	-2073.24; 1415.02	-655.94	-1611.76; 299.88
Body weight (kg)	15.48	8.57; 22.40	12.53	4.94; 20.12	14.38	6.32; 22.44	-	-	-	-
Age (years)	-	-	13.61	-1.63; 28.87	12.80	-4.69; 30.29	17.98	2.86; 33.13	18.18	3.20; 33.16
Height (cm)	-	-	10.83	-1.43; 23.10	10.32	-1.96; 22.60	-2.71	14.79; 9.36	-	-
Insulin (mUI/L)	-	-	-	-	-5.17	-12.96; 2.62	-4.05	-10.73; 2.62	-3.98	-10.60; 2.62
FT ₃ (ng/dL)	-	-	-	-	79.05	-274.98; 433.10	234.60	-76.11; 545.32	231.27	-76.40; 538.95
FFM (kg)	-	-	-	-	-	-	59.22	37.54; 80.90	56.29	39.10; 73.49
BF (kg)	-	-	-	-	-	-	-7.13	-19.16; 4.89	-6.67	-18.42; 5.08

BF: body fat; FFM: fat-free mass; FT3: free triiodothyronine.

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Flowchart of selection and data collection

Figure 2. Relationship between total energy expenditure and physical activity marker, total MET.h

Continuous line = Non-linear model; Dashed line = Linear model; Vertical dashed line = Change point

Figure 3. The effect of Total MET.h on the adjusted total energy expenditure for subjects according to the increasing thresholds of Total MET.h

df = degrees of freedom. The first plot “df(54)” includes all individuals ($n = 55$). After that, individuals were excluded one-at-a-time, beginning with the individual with the lowest MET. The last plot “df(9)” is the analysis with the 10 individuals with the highest MET.

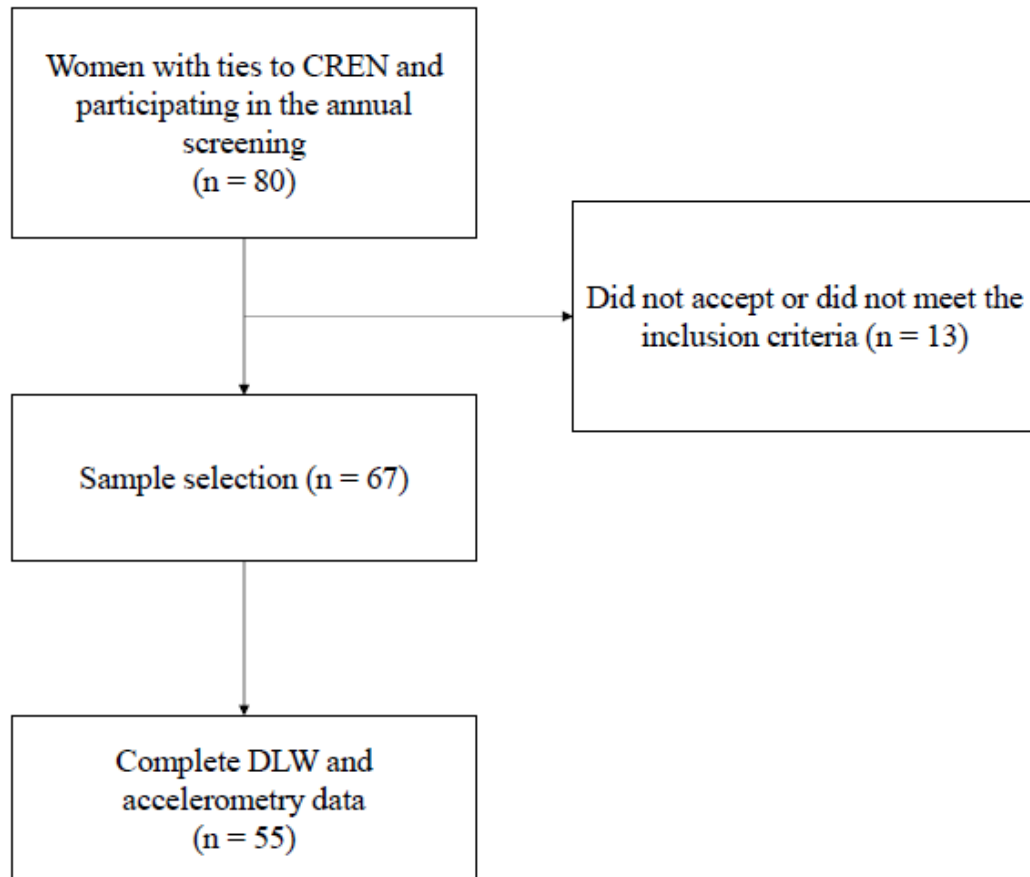


Figure 1. Flowchart of selection and data collection

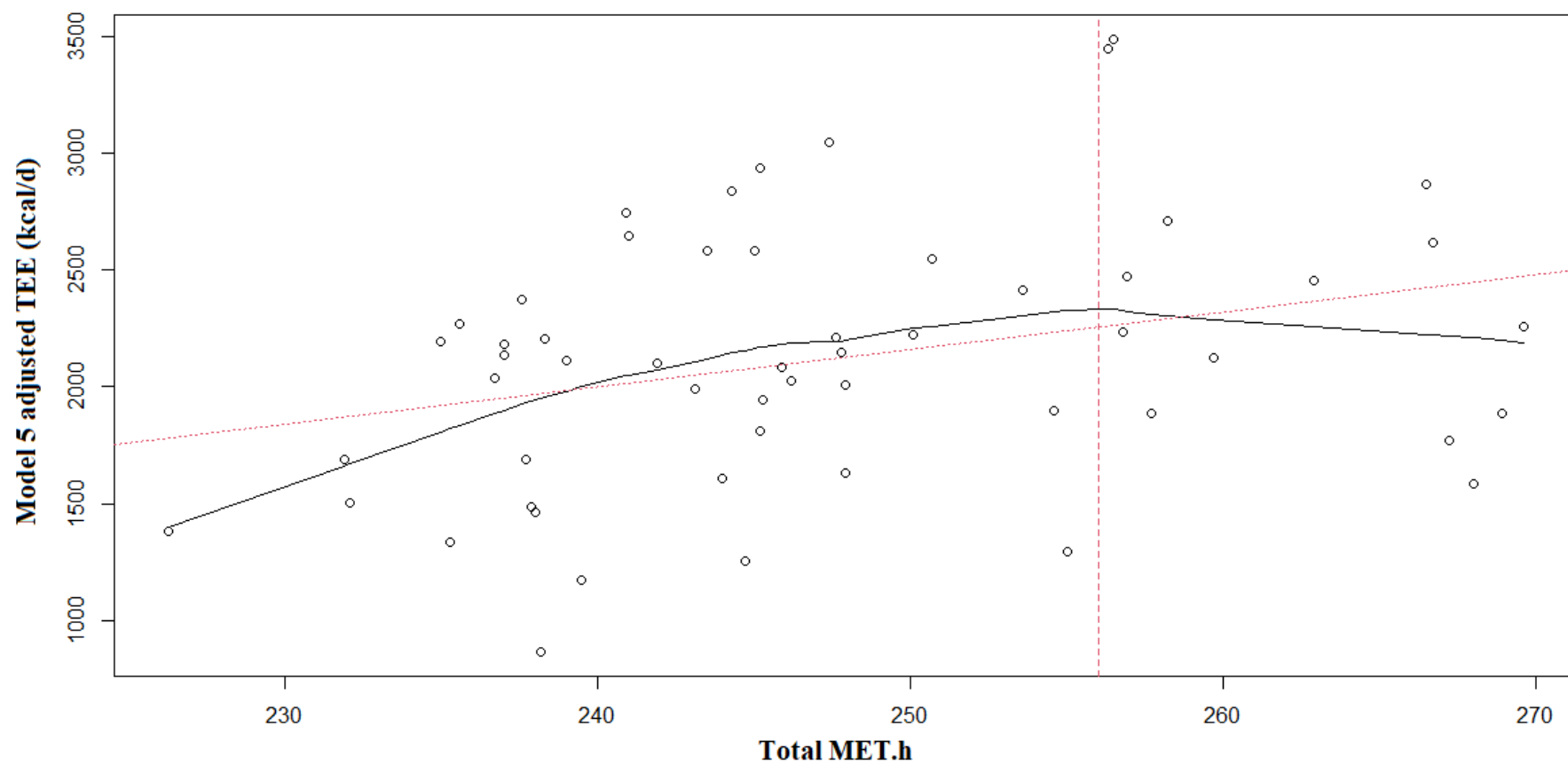


Figure 2. Relationship between total energy expenditure and physical activity marker, total MET.h

Continuous line = Non-linear model; Dashed line = Linear model; Vertical dashed line = Change point

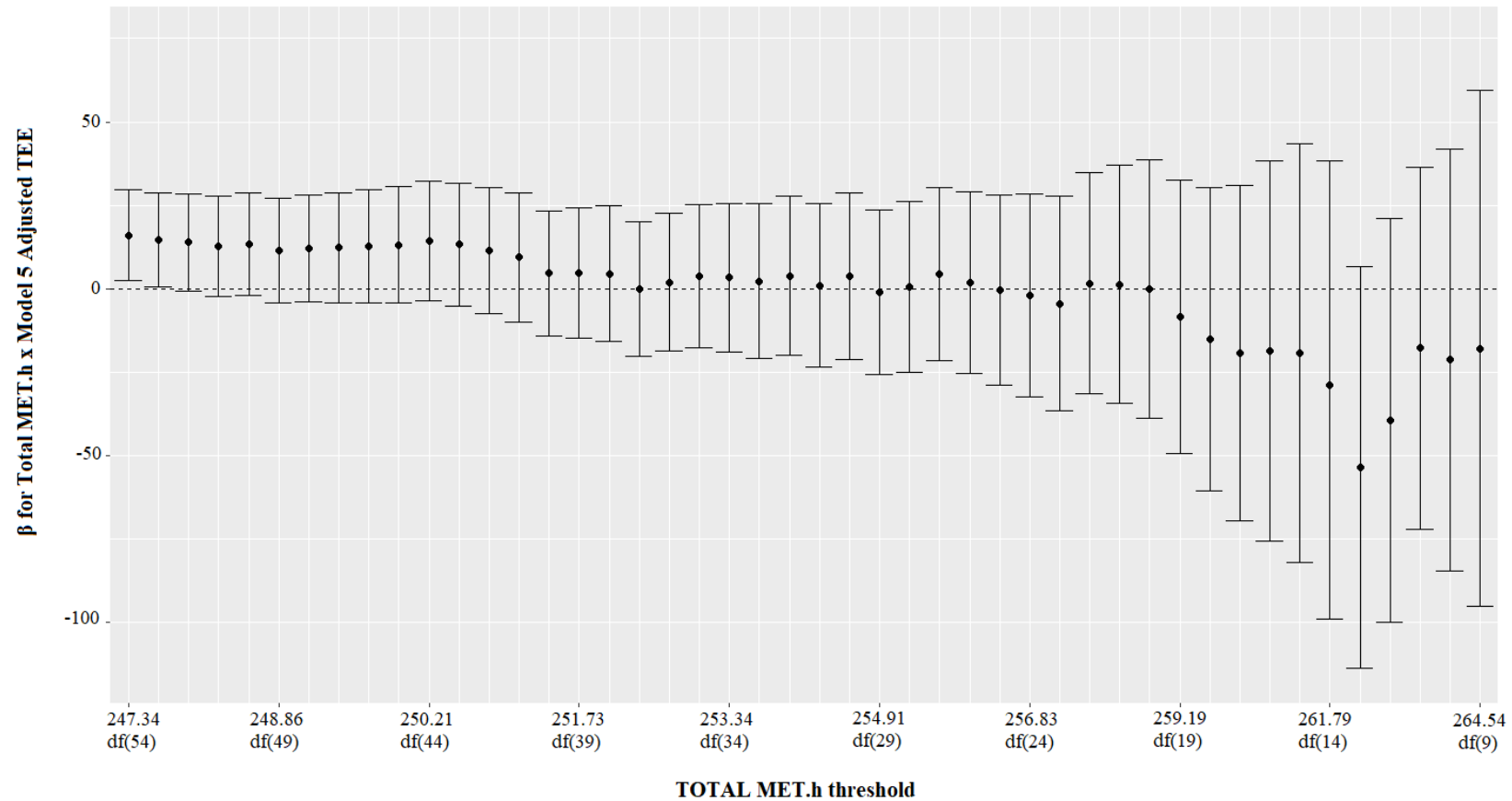


Figure 3. The effect of Total MET.h on the adjusted total energy expenditure for subjects according to the increasing thresholds of Total MET.h
df = degrees of freedom. The first plot “df(54)” includes all individuals (n = 55). After that, individuals were excluded one-at-a-time, beginning with the individual with the lowest MET. The last plot “df(9)” is the analysis with the 10 individuals with the highest MET.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a mensuração do GET e o NAF por meio de métodos considerados padrão-ouro, e a avaliação das duas diferentes abordagens de descrição do GET, foi possível observar que o modelo não-linear descreve melhor a relação entre essas duas variáveis. O modelo linear testado apesar de apresentar associação entre o GET ajustado e o MET, esse se mostrou menos adequado que o modelo não-linear. No modelo não-linear, a associação dessas duas variáveis parece ser apenas perceptível antes do ponto de mudança identificado. O entendimento que a relação do GET e o NAF não é linear, pode impactar diretamente na prática clínica e pesquisas científicas acerca de indivíduos com sobrepeso e obesidade. Por fim, ainda salientamos a importância da atividade física sobre a saúde humana e que esta deve ser recomendada de forma abrangente, no entanto, não com o objetivo de propor um aumento do GET.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA ESTUDO DA OBESIDADE E SINDRÓME METABÓLICA. **Diretrizes brasileiras de obesidade**. São Paulo: ABESO, 2016. 188p.

AINSWORTH, B.E. et al. Compendium of physical activities: an update of activity codes and MET intensities. **Med Sci Sports Exerc.** v.32, n.9 Suppl, p.S498-504, 2000.

AINSWORTH, B. E. et al. 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and MET values. **Med Sci Sports Exerc.** v.43, n.8, p.1575-81, 2011.

ALLIROT, X. et al. An isocaloric increase of eating episodes in the morning contributes to decrease energy intake at lunch in lean men. **Physiol Behav.** v.110-111, p. 169-78, 2013.

BARNARD, N. D. et al. The effects of a low-fat, plant-based dietary intervention on body weight, metabolism, and insulin sensitivity. **Am J Med.** v.118, n.9, p.991-7, 2005.

BYRNE, N.M. et al. Metabolic equivalent: one size does not fit all. **J Appl Physiol.** v.99, n.3, p.1112-9, 2005.

CALCAGNO, M. et al. The thermic effect of food: a review. **J Am Coll Nutr.** v.38, n.6, p. 547-51, 2019.

CASPERSEN, C. J.; POWELL, K. E.; CHRISTENSON, G.M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. **Public Health Rep.** v.100, n.2, p.126-31, 1985.

DASSO, N.A. How is exercise different from physical activity? A concept analysis. **Nurs Forum.** v.54, n.1, p.45-52, 2018.

DEERENBERG, C.; OVERKAMP, G.J. Hard work impinges on fitness: an experimental study with zebra finches. **Anim Behav.** v.58, n.1, p.173-9, 1999.

DU, S. et al. The thermic effect of food is reduced in older adults. **Horm Metab Res.** v.46, n.5, p.365-9, 2014.

FERNÁNDEZ-VERDEJO, R. et al. Deciphering the constrained total energy expenditure model in humans by associating accelerometer-measured physical activity from wrist and hip. **Sci Rep.** v. 11, n. 1, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Human energy requirements.** Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Rome. Food and Nutrition Technical Report Series. Rome: FAO. 2001. 103 p.

FRANKENFIELD, D.; ROTH-YOUSEY, L.; COMPHER, C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: A systematic review. **J Am Diet Assoc.** v.105, n.5, p.775–89, 2005.

GONZÁLEZ-MUNIESA, P. et al. Obesity. **Nat Rev Dis Primers.** v.3, n.17034, 2017.

GRUND, A. et al. Association between different attributes of physical activity and fat mass in untrained, endurance- and resistance-trained men. **Eur J Appl Physiol.** v.84, n.4, p.310-20, 2001.

JIANG, C. Q. et al. Cohort profile: The Guangzhou Biobank Cohort Study, a Guangzhou-Hong Kong-Birmingham collaboration. **Int J Epidemiol.** v.35, n.4, p.844-52, 2006.

JETTÉ, M.; SIDNEY, K.; BLÜMCHEN, G. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. **Clin Cardiol.** v.13, n.8, p.555-65, 1990.

HALLAL, P. C. et al. Physical inactivity: Prevalence and associated variables in Brazilian adults. **Med Sci Sports Exerc.** v.35, n.11, p.1894-900, 2003.

HARRIS, J. A.; BENEDICT, F. G. A biometric study of human basal metabolism. **Proc Natl Acad Sci U S A.** v.4, n.12, p.370-3, 1919.

INSTITUTE OF MEDICINE. **Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids.** Washington (DC): National Academy Press. 2005. 1358p.

KENNY, G. P.; NOTLEY, S. R.; GAGNON, D. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. **Eur J Appl Physiol.** v.117, n.9, p.1765-85, 2017.

- KOZEY, S. et al. Errors in MET estimates of physical activities using 3.5 mL kg(j1) min(j1) as the baseline oxygen consumption. **J Phys Act Health**. v.7, n.4, p.508-16, 2010.
- LAFORGIA, J. et al. Comparison of energy expenditure elevations after submaximal and supramaximal running. **J Appl Physiol**. v.82, n.2, p.661-6, 1997.
- LAM, Y. Y.; RAVUSSIN, E. Analysis of energy metabolism in humans: a review of methodologies. **Molecular Metabolism**. v.5, n.11, p.1057-71, 2016.
- LEE, I.; SHIROMA, E. J. Using accelerometers to measure physical activity in large-scale epidemiological studies: issues and challenges. **Br J Sports Med**. v.48, n.3, p.197-201, 2014.
- LEONARD, W. R. Laboratory and field methods for measuring human energy expenditure. **Am J Hum Biol**. v.24, n.3, p.372-84, 2012.
- LEVINE, J.A. Measurement of energy expenditure. **Public Health Nutr**. v.8, n.7A, p.1123-32, 2005
- MELO, C. M.; TIRAPEGUI, J.; RIBEIRO, S. L. Gasto energético corporal: conceitos, formas de avaliação e sua relação com a obesidade. **Arq Bras Endocrinol Metab**, v.52, n.3, p.452-64, 2008.
- PERRIGO, G. Breeding and feeding strategies in deer mice and house mice when females are challenged to work for their food. **Anim Behav**. v.35, n.5, p.1298-316, 1987.
- PERRIGO, G.; BRONSON, F. H. Foraging effort, food intake, fat deposition and puberty in female mice. **Biol Reprod**. v.29, n.2, p.455-63, 1983.
- PLASQUI, G.; BONOMI, A. G.; WESTERTERP, K. R. Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies. **Obes Rev**. v.14, n.6, p.451-62, 2013.
- POEHLMAN, E. T.; MELBY, C. L.; BADYLAK, S. F. Relation of age and physical exercise status on metabolic rate in younger and older healthy men. **J Gerontol**. v.46, n.2, p. B54-8, 1991.
- PONTZER, H. Constrained total energy expenditure and the evolutionary biology of energy balance. **Exerc Sport Sci Rev**. v.43, n.3, p.110-6, 2015.

- PONTZER, H. et al. Constrained total energy expenditure and metabolic adaptation to physical activity in adult humans. **Curr Biol.** v.26, n.3, p.410-7, 2016.
- POPKIN, B. M.; ADAIR, L. S.; NG, S. W. Global nutrition transition and the pandemic of obesity in developing countries. **Nutr. Rev.** v.70, n.1, p. 3–21, 2012.
- QUATELA, A. et al. The energy content and composition of meals consumed after an overnight fast and their effects on diet induced thermogenesis: a systematic review, meta-analyses and meta-regressions. **Nutrients**, v.8, n.11, 2016.
- ROMON, M. et al. Circadian variation of diet-induced thermogenesis. **Am J Clin Nutr.** v.57, n.4, p.476-480, 1993.
- SCHOELLER, D. A.; VAN SANTEN, E. 1982. Measurement of energy expenditure in humans by doubly labeled water method. **J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.** v.53, n.4, p.955-9, 1982.
- SOARES, M. J.; MÜLLER, M. J. Resting energy expenditure and body composition: critical aspects for clinical nutrition. **Eur J Clin Nutr.** v.72, n.9, p.1208-14, 2018.
- SPEAKMAN, J. R. et al. The International Atomic Energy Agency International Doubly Labelled Water Database: Aims, scope and procedures. **Ann Nutr Metab.** v.75, n.2, p.114-8, 2019.
- SPEAKMAN, J. R. The history and theory of the doubly labeled water technique. **Am J Clin Nutr.** v.68, n.4, p.932S-8, 1998.
- SPEAKMAN, J.R.; SELMAN, C. Physical activity and resting metabolic rate. **Proc Nutr Soc.** v.62, n.3, p.621-34, 2003.
- TAI, M. M.; CASTILLO, P.; PI-SUNYER, F. X. Meal size and frequency: effect on the thermic effect of food. **Am J Clin Nutr.** v.54, n.5, p.783-7, 1991.
- TOYAMA, K. et al. The effect of fast eating on the thermic effect of food in young Japanese women. **Int J Food Sci Nutr.** v.66, n.2, p. 140-7, 2015.
- URLACHER, S. S. et al. Constraint and trade-offs regulate energy expenditure during childhood. **Sci Adv.** v.5, n.12, 2019.

- WARBURTON, D. E.; BREDIN, S. S. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. **Curr Opin Cardiol.** v.32, n.5, p.541-56, 2017.
- WESTERTERP, K. R. Exercise, energy balance and body composition. **Eur J Clin Nutr.** v.72, n.9, p.1246-503, 2018.
- WESTERTERP, K. R. Physical activity, food intake, and body weight regulation: insights from doubly labeled water studies. **Nutr Rev.** v.68, n.3, p.148-54, 2010.
- WESTERTERP, K. R. Control of energy expenditure. **Eur J Clin Nutr.** v.71, n.3, p.340-4, 2017a. WESTERTERP, K. R. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. **Eur J Appl Physiol.** v.117, n.7, p.1277-85, 2017b.
- WHARTON, S. et al. Obesity in adults: a clinical practice guideline. **CMAJ.** v.192, n.31, p.E875-91, 2020.
- WHITE, T. et al. Estimating energy expenditure from wrist and thigh accelerometry in free-living adults: a doubly labelled water study. **Int J Obes.** v.43, n.11, p.2333-42, 2019.
- WIERSMA, P.; VERHULST, S. Effects of intake rate on energy expenditure, somatic repair and reproduction of zebra finches. **J Exp Biol.** v.208, n.Pt21, p.4091-8, 2005.
- WILLIAMS, C. B. et al. Changes in mechanisms proposed to mediate fat loss following an acute bout of high-intensity interval and endurance exercise. **Appl Physiol Nutr Metab.** v.38, n.12, p.1236-44, 2013.
- WILLIS, E, A. et al. Physical activity and total daily energy expenditure in older us adults: constrained versus additive models. **Med Sci Sports Exerc.** v. 54, n. 1, p. 9-105, 2022.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Global recommendations on physical activity for health.** Geneva: World Health Organization. 2010. 60p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Obesity and overweight.** FactSheet n. 311, 2018.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Obesity: preventing and managing the global epidemic.** World Health Organization. Geneva. 2000. 268p.

APÊNDICE

APÊNDICE A:

MACENA, ML; PAULA, DTC; SILVA JÚNIOR, AE; PRAXEDES, DRS; PUREZA, IROM; DE MELO, ISV; BUENO, NB. **Estimates of resting energy expenditure and total energy expenditure using predictive equations in adults with overweight and obesity: a systematic review with meta-analysis.** Submetido ao periódico Nutrition Reviews (Classificação A1, segundo os critérios do sistema Qualis da CAPES/Área de Nutrição).



Estimates of resting energy expenditure and total energy expenditure using predictive equations in adults with overweight and obesity: a systematic review with meta-analysis

Journal:	Nutrition Reviews
Manuscript ID:	NUTR-REV-375-LA-10-2021.R1
Manuscript type:	Meta-Analysis
Date Submitted by the Author:	01-Feb-2022
Complete List of Authors:	Macena, Mateus; Universidade Federal de Alagoas, Paula, Deborah; Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Nutrição Da Silva Júnior, André; Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina Praxedes, Dafiny; Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Nutrição Pureza, Isabele; Universidade Federal de São Paulo, Escola Paulista de Medicina De Melo, Ingrid; Instituto Federal de Alagoas Bueno, Nassib; Universidade Federal de Alagoas, Faculdade de Nutrição
Keywords:	calorimetry, doubly labelled water, energy metabolism, obesity, predictive equations
Abstract:	Objective: To determine which predictive equation of resting energy expenditure (REE) and total energy expenditure (TEE) has the lowest bias and the highest precision in adults with overweight and obesity. Methods: Searches were performed on January, 2022 in the MEDLINE, Web of Science, Scopus, CENTRAL and grey literature databases. Meta-analyses were performed with equations included in more than one study. We used the DerSimonian and Laird random-effects model and the I^2 statistics to quantify heterogeneity in our quantitative analyses. We performed the Egger test to assess potential publication biases and conducted metaregression analysis to explore the heterogeneity. We also present findings separated by participants' body mass index classification (overweight and obesity). Results: Sixty-one studies were included, in which we were able to identify 47 different predictive equations of energy expenditure. The FAO/WHO/UNU (1985) equation, which uses only body weight in its formula, showed the lowest bias to estimate REE (mean difference [MD]=8.97 kcal; 95%CI=-26.99; 44.94). In the subgroup analysis for individuals with obesity, Lazzer (2007) equation showed the lowest bias (MD=4.70 kcal; 95%CI=-95.45; 104.86). The Harris-Benedict equation (1919) showed the highest precision values for both individuals with overweight (60.65%) and obesity (62.54%). Equations with body composition data showed the highest biases. The equation proposed by the Institute of Medicine (2005) showed the lowest bias (MD=-2.52 kcal; 95%CI=-125.94; 120.90) among those used to estimate the TEE. We found a high heterogeneity ($I^2>90\%$) in most of our analyses. There was no evidence of publication bias. Conclusions: Considering all individuals with overweight, the FAO/WHO/UNU (1985) and the Harris-Benedict equations (1919) showed the lowest bias and the highest precision to predict the REE, respectively. For individuals with obesity, Harris-Benedict (1919) showed the highest precision and Lazzer (2007) showed the lowest bias. More studies are needed on predictive equations to estimate the TEE.

Article type: Meta-Analyses

Title: Estimates of resting energy expenditure and total energy expenditure using predictive equations in adults with overweight and obesity: a systematic review with meta-analysis

Mateus de Lima Macena¹

Déborah Tenório da Costa Paula¹

André Eduardo da Silva Júnior²

Dafiny Rodrigues Silva Praxedes¹

Isabele Rejane de Oliveira Maranhão Pureza²

Ingrid Sofia Vieira de Melo³

Nassib Bezerra Bueno^{1,2*}

1. Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil.
2. Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil.
3. Instituto Federal de Alagoas, Satuba, Alagoas, Brasil.

*Corresponding author:

Nassib Bezerra Bueno, Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, 57072-900, Brazil, Zip Code: 57072-970.

Phone: +55 (82) 999766895 | Fax: +55 (11) 55739525

E-mail: nassib.bueno@fanut.ufal.br

ABSTRACT

Objective: To determine which predictive equation of resting energy expenditure (REE) and total energy expenditure (TEE) has the lowest bias and the highest precision in adults with overweight and obesity.

Methods: Searches were performed on January, 2022 in the MEDLINE, Web of Science, Scopus, CENTRAL and grey literature databases. Meta-analyses were performed with equations included in more than one study. We used the DerSimonian and Laird random-effects model and the I^2 statistics to quantify heterogeneity in our quantitative analyses. We performed the Egger test to assess potential publication biases and conducted metaregression analysis to explore the heterogeneity. We also present findings separated by participants' body mass index classification (overweight and obesity).

Results: Sixty-one studies were included, in which we were able to identify 47 different predictive equations of energy expenditure. The FAO/WHO/UNU (1985) equation, which uses only body weight in its formula, showed the lowest bias to estimate REE (mean difference [MD]=8.97 kcal; 95%CI=-26.99; 44.94). In the subgroup analysis for individuals with obesity, Lazzer (2007) equation showed the lowest bias (MD=4.70 kcal; 95%CI=-95.45; 104.86). The Harris-Benedict equation (1919) showed the highest precision values for both individuals with overweight (60.65%) and obesity (62.54%). Equations with body composition data showed the highest biases. The equation proposed by the Institute of Medicine (2005) showed the lowest bias (MD=-2.52 kcal; 95%CI=-125.94; 120.90) among those used to estimate the TEE. We found a high heterogeneity ($I^2>90\%$) in most of our analyses. There was no evidence of publication bias.

Conclusions: Considering all individuals with overweight, the FAO/WHO/UNU (1985) and the Harris-Benedict equations (1919) showed the lowest bias and the highest precision to predict the REE, respectively. For individuals with obesity, Harris-Benedict (1919) showed the highest precision and Lazzer (2007) showed the lowest bias. More studies are needed on predictive equations to estimate the TEE.

Keywords: Calorimetry; Doubly labelled water; Energy metabolism; Obesity; Predictive equations

APÊNDICE B

MACENA, ML; SILVA JÚNIOR, AE; PRAXEDES, DRS; VASCONCELOS, LGL; PUREZA, IROM; FLORÊNCIO, TMMT; BUENO, NB. **Association between sitting/lying down, standing, walking time and number of steps per day with the hormonal profile and resting energy expenditure of women with obesity living in a low-income region.** Aceito no periódico British Journal of Nutrition (Classificação A1, segundo os critérios do sistema Qualis da CAPES/Área de Nutrição).



Association between sitting/lying down, standing, walking time and number of steps per day with the hormonal profile and resting energy expenditure of women with obesity living in a low-income region

Mateus de Lima Macena¹, André Eduardo da Silva Júnior², Dafiny Rodrigues Silva Praxedes¹, Laís Gomes Lessa Vasconcelos³, Isabelle Rejane de Oliveira Maranhão Pureza², Telma Maria de Menezes Toledo Florêncio¹ and Nassib Bezerra Bueno^{1*}

¹Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil

²Escola Paulista de Medicina, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

³Hospital Universitário Professor Alberto Antunes, Maceió, Alagoas, Brasil

(Submitted 2 June 2021 – Final revision received 20 August 2021 – Accepted 6 September 2021)

Abstract

Reducing sedentary behaviour (SB) and increasing physical activity (PA) by sitting less and standing/walking more is advised to prevent chronic diseases. However, the mechanisms underlying this recommendation are not well established, especially in individuals with obesity living in low-income regions. The present study evaluated whether there are associations between PA indicators (PAI – standing time, walking time and the number of steps/d) and SB indicators (SBI – sitting/lying down time) with the hormonal profile and resting energy expenditure (REE) of adult women living in a low-income region. This is a cross-sectional study. We collected data on hormones (insulin resistance, leptin and thyroid axis), body composition (tetrapolar bioimpedance), REE (indirect calorimetry), and PAI and SBI (triaxial accelerometers, ActivPAL). Multivariable linear models adjusting for age and fat-free mass were performed. Fifty-eight women (mean age of 31 years and BMI of 33 kg/m²) were included. The mean sitting/lying down time and standing time were 16.08 and 5.52 h/d, respectively. Sitting/lying down time showed a direct association with free thyroxine (FT₄) ($\beta = 0.56$ ng/dl; 95% CI = $-1.10, -0.02$). Standing time showed a direct association with FT₄ ($\beta = 0.75$ ng/dl; 95% CI = $0.01, 1.48$) and inverse association with free triiodothyronine ($\beta = -2.83$ pg/ml 95% CI = $-5.56, -0.10$). There were no associations between PAI and SBI with the REE, insulin resistance, leptin and thyroid-stimulating hormone. Thus, decreased SB is associated with thyroid hormones levels but not with REE, insulin resistance or leptin in women with obesity living in low-income regions.

Key words: Body composition: Exercise: Hormones: Indirect calorimetry

Obesity has a multifactorial origin, with increasing prevalence in recent decades worldwide and a high burden on the public health system due to its significant morbidity and mortality⁽¹⁾. Over the years, increasing physical activity (PA) energy expenditure has become a commonly applied strategy to combat obesity, especially through the practice of physical exercises, a planned structured repetitive PA aimed at improving or maintaining one or more components of physical fitness^(2–4).

The practice of physical exercise brings health benefits to individuals⁽⁵⁾. Physical exercise can provide several metabolic changes, including thermogenesis, β -adrenergic stimulation, hepatic mitochondrial activity, decreased blood pressure, improved insulin resistance and decreased circulating leptin levels^(5–10). Due to its effects on lean mass, physical exercise is

purported to increase an individual's resting energy expenditure (REE)⁽¹¹⁾. However, there is evidence that differences in REE between individuals are not fully explained by differences in body composition and aerobic fitness alone⁽¹²⁾.

On the other hand, it is noteworthy that physical exercise is not the only component of PA that plays a role in human health. PA is defined as any type of movement performed by the skeletal muscles that result in energy expenditure, at various intensities, durations and frequencies of muscle contractions. Low PA, which is related to sedentary behaviour (SB), is gaining attention for its deleterious effects on human health⁽⁴⁾. SB occurs through sitting/lying down or reclining while awake and leads to low energy expenditure (approximately 1.0–1.5 times metabolic equivalent of task (MET)), being associated with an increased

Abbreviations: FFM, fat-free mass; FT₃, free triiodothyronine; FT₄, free thyroxine; HOMA-IR, homeostatic insulin resistance model; MET, metabolic equivalent of task; PA, physical activity; PAI, PA indicator; REE, resting energy expenditure; SB, sedentary behavior; SBI, SB indicator; TSH, thyroid-stimulating hormone.

* Corresponding author: Nassib Bezerra Bueno, email nassib.bueno@fanut.ufal.br