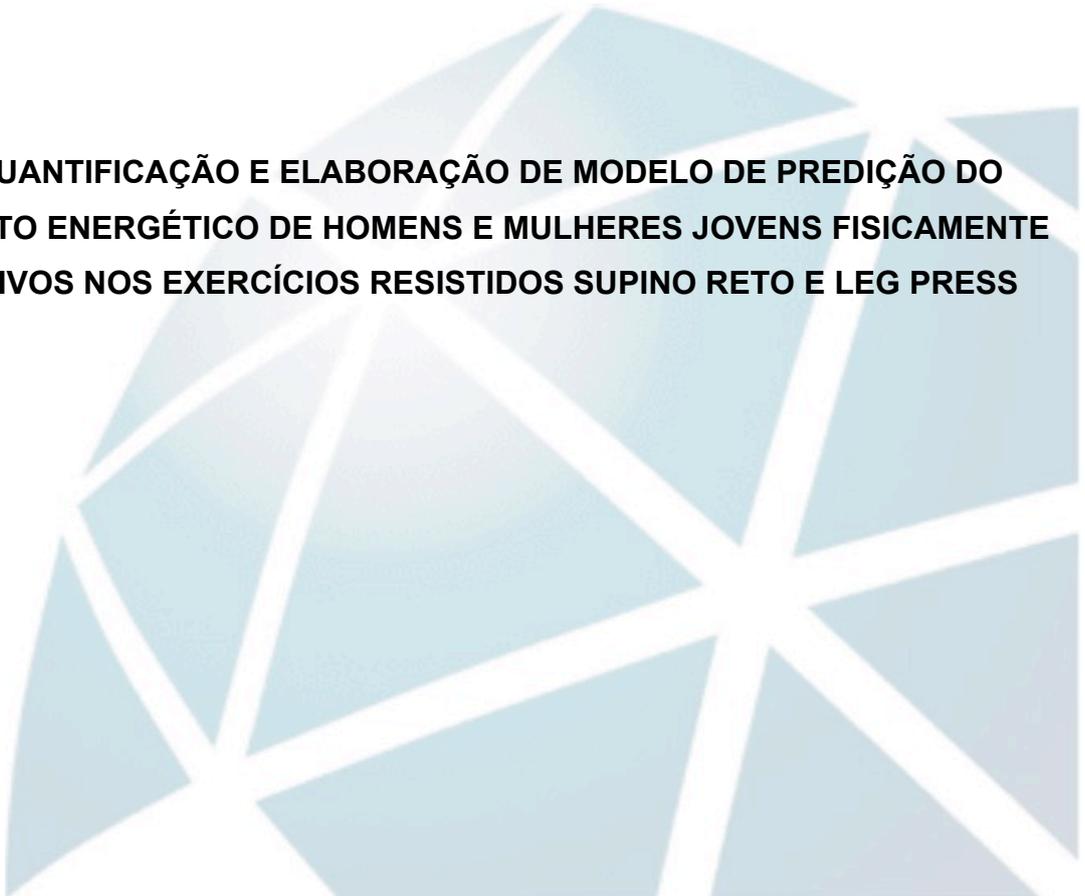

CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE (BIODINÂMICA DA MOTRICIDADE HUMANA)

Rodrigo Ferro Magosso



**QUANTIFICAÇÃO E ELABORAÇÃO DE MODELO DE PREDIÇÃO DO
GASTO ENERGÉTICO DE HOMENS E MULHERES JOVENS FISICAMENTE
ATIVOS NOS EXERCÍCIOS RESISTIDOS SUPINO RETO E LEG PRESS**

Rodrigo Ferro Magosso

**QUANTIFICAÇÃO E ELABORAÇÃO DE MODELO DE PREDIÇÃO DO GASTO
ENERGÉTICO DE HOMENS E MULHERES JOVENS FISICAMENTE ATIVOS NOS
EXERCÍCIOS RESISTIDOS SUPINO RETO E LEG PRESS**

Tese apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus
Rio Claro, como requisito para obtenção
do grau de Doutor em Ciências da
Motricidade

Orientador: Prof. Dr. Vilmar Baldissera

Rio Claro-SP
2019

M211q Magosso, Rodrigo Ferro
Quantificação e elaboração de modelo de predição do gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente ativos nos exercícios resistidos supino reto e leg press / Rodrigo Ferro Magosso. -- Rio Claro, 2019
130 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro
Orientador: Vilmar Baldissera

1. Gasto energético. 2. Metabolismo energético. 3. Exercício.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Biociências, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Rio Claro



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: **Quantificação e elaboração de modelo de predição do gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente Ativos nos exercícios resistidos supino reto e leg press**

AUTOR: RODRIGO FERRO MAGOSSO

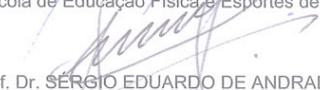
ORIENTADOR: VILMAR BALDISSERA

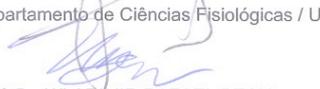
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIAS DA MOTRICIDADE , área: Biodinâmica da Motricidade Humana pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. VILMAR BALDISSERA
Departamento de Ciências Fisiológicas / Universidade Federal de São Carlos/ SP


Prof. Dr. ALESSANDRO MOURA ZAGATTO
Departamento de Educação Física / UNESP - Faculdade de Ciências de Bauru/ SP


Prof. Dr. MARCELO PAPOTI
Escola de Educação Física e Esportes de Ribeirão Preto / Universidade de São Paulo/ SP


Prof. Dr. SÉRGIO EDUARDO DE ANDRADE PEREZ
Departamento de Ciências Fisiológicas / Universidade Federal de São Carlos/ SP


Prof. Dr. WLADIMIR RAFAEL BECK
Departamento de Ciências Fisiológicas / Universidade Federal de São Carlos/ SP

Rio Claro, 07 de junho de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradecer em um trabalho de doutorado é, em minha opinião, o reconhecimento de que eu não teria chegado até este ponto sem a ajuda de diversas pessoas. Por isso, devo, em primeiro lugar, agradecer a meus pais por sua dedicação à minha formação profissional e à educação que me proporcionaram. Espero, com todo meu ser, poder retribuir seu esforço. Junto a eles, agradeço meus irmãos Renato e Bruno, meus tios Sérgio e Rubens, que ajudaram a viabilizar meus estudos e a toda minha família que auxiliou diretamente na formação do meu caráter e nos estímulos e à minha formação.

Em extensão, agradeço à minha ex-esposa Natalia, que esteve durante a maior parte de meu doutorado como minha amiga, companheira e ocasional psicóloga. Ela foi a grande responsável por tornar a nossa casa em um lar, o que, além de tudo, aumentou minha capacidade de trabalho

No aspecto profissional, destaco primeiramente os três maiores responsáveis por minha carreira. Meu orientador, prof. Dr. Vilmar Baldissera, além dos professores Cássio Mascarenhas Robert Pires e Mercides Bento da Silva. Meus agradecimentos a vocês seriam dignos de mais um tese e suas contribuições estarão para sempre em minha memória.

Também sou muito grato a todos os meus colegas de laboratório, que muitas vezes me incitaram na procura por mais conhecimentos. Em especial, aos que trabalharam diretamente comigo neste trabalho: Gabriela Soares de Souza, João Paulo Costa de Carli e José Campanholi Neto. Ao último, estendo ainda minha gratidão por seu fulcral auxílio na análise estatística deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Por fim, dentre tantos nomes que fizeram a diferença em minha vida e profissão, agradeço a todos que estiveram envolvidos comigo desde uma simples conversa sobre fisiologia até a execução de projetos de pesquisa. Cada contribuição me trouxe mais perto deste sonho.

A todos, meu muito obrigado!

DEDICATÓRIA

Nenhum “obrigado” no mundo faria jus à dedicação de meus pais. Por isso, dedico este trabalho a eles: Renato e Eliane.

"Se enxerguei ao longe, foi porque estava sobre os ombros de gigantes."

(Isaac Newton)

RESUMO

Apesar de diversos avanços científicos, mesmo após mais de 200 anos de aplicação da primeira calorimetria com humanos e todas as possibilidades criadas pelas tecnologias desenvolvidas, em especial os aparatos portáteis, o gasto energético (GE) dos exercícios resistidos ainda permanece, de certa forma, elusivo. Desta forma, o presente estudo foi conduzido com o objetivo geral de Quantificar e criar um modelo matemático para a predição do gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente ativos nos exercícios supino reto (SR) e leg press (LP). 11 homens (grupo masculino – GM), com idade (média \pm desvio padrão) de $28,7 \pm 5,5$ anos, altura de $1,77 \pm 0,07$ m, massa corporal de $81,40 \pm 8,17$ kg e percentual de gordura de $16,36 \pm 6,79\%$ e 11 mulheres (grupo feminino – GF), com idade de $27,6 \pm 4,6$ anos, altura de $1,67 \pm 0,06$ m, massa corporal de $60,05 \pm 5,76$ kg e percentual de gordura de $20,20 \pm 2,73\%$ se voluntariaram para o estudo. Cada voluntário se apresentou ao Laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCar em oito ocasiões: na primeira visita, os voluntários foram informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, os dados antropométricos mensurados e realizado o ajuste da biomecânica dos exercícios e teste de 1 repetição máxima (1RM) nos exercícios SR e LP. Após 48 a 72 horas, na segunda visita, os voluntários foram submetidos ao reteste de 1RM. Nas seis visitas seguintes, os voluntários foram submetidos ao protocolo de determinação do GE nas intensidades de 40%, 60% e 80% de 1RM, nos exercícios SR e LP, de maneira que apenas um exercício e uma intensidade eram realizados no mesmo dia. O intervalo respeitado para a realização do mesmo exercício foi de 48 a 72 horas. O GM apresentou diferença no gasto energético total entre os exercícios SR e LP, mas este efeito não foi observado quando o gasto energético foi quantificado em calorias por repetição (KCal/rep). Já o grupo feminino teve maior gasto energético no LP comparado ao SR tanto na quantidade total de KCal como em KCal/rep. Também foi verificado, para os dois grupos, que o gasto energético por tonelada de trabalho é maior no exercício SR comparado ao LP, para ambos os grupos. Os resultados do presente estudo também permitiram a elaboração de equações de predição do gasto energético, em KCal/rep, em função da intensidade do exercício expressa em percentual de 1RM. Conclui-se, com estes dados, que, a

partir do conhecimento da intensidade dos exercícios resistidos SR e LP, é possível prever o gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente ativos.

Palavras-chave: exercícios resistidos, gasto energético, percentual de 1RM, ergogênese

ABSTRACT

Despite many scientific advances, even after over 200 years of the first calorimetry on humans and all the possibilities made especially by portable apparatus, energy expenditure (EE) still remains somehow elusive. In this sense, the present study was conducted to quantify and create a model to predict EE of young physically active men and women on the bench press (BP) and leg press (LP) exercises. 11 men (male group – GM) with age (mean \pm standard deviation) 27.8 ± 5.5 years, height 1.77 ± 0.07 m, body mass 81.40 ± 8.17 kg and body fat percentage of $16.36 \pm 6.79\%$ and 11 women (female group – GF) with age 27.6 ± 4.6 years, height 1.67 ± 0.06 m, body mass 60.05 ± 5.76 kg and body fat percentage of $20.20 \pm 2.73\%$ volunteered for the study. Volunteers came to the Exercise Physiology Laboratory of UFSCar on eight visits: in the first visit, volunteers were informed of the aims and proceedings of the study, signed an informed consent and had their anthropometric data analyzed, biomechanical adjustments made and perform 1 repetition maximum (1RM) test on both exercises. After 48 to 72 hours, volunteers came to the second visit to perform 1RM re-test. In the six following visits, volunteers were submitted to the EE protocol at 40, 60 or 80% of their 1RM on the BP and LP exercises. Interval for evaluations of the same exercise were 48 to 72 hours. GM had a significant difference in total energy expenditure between exercises, but such effect was not observed when EE was quantified as calories per repetition (KCal/rep). The GF presented higher EE on LP compared to BP in total calories and KCal/rep. For both groups, our results show that EE per ton of work is higher on BP compared to LP. The results of the present study have also allowed the elaboration of prediction equations of EE, quantified as KCal/rep as a function of exercise intensity as percentage of 1RM. Thus, it is concluded from these data that from exercise intensity it is possible to predict energy expenditure in BP and LP exercises of physically active young men and women.

Keywords: resistance exercise. Energy expenditure. 1RM percentage. Ergogenesis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Desenho experimental do estudo.....	96
Figura 2. Barra guiada utilizada no exercício supino reto.....	97
Figura 3. Padronização dos pontos inicial e final no exercício supino reto.....	99
Figura 4. Leg Press 45° utilizado no estudo.....	100
Figura 5. Padronização dos pontos inicial e final no exercício leg press.....	100
Figura 6. Reprodução didática do consumo de oxigênio.....	104
Figura 7. Sequência de eventos nos testes de determinação do gasto energético.....	106
Figura 8 – Regressão linear do gasto energético total (GET).....	110
Figura 9 – Aplicação do modelo de Bland-Altman para determinação do erro associado aos modelos de predição do GE.....	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características antropométricas dos voluntários.....	78
Tabela 2 – valor do número máximo de repetições do grupo masculino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM.....	92
Tabela 3 – valor do número máximo de repetições do grupo feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM.....	92
Tabela 4 – trabalho total (kg) dos grupos masculino e feminino nos exercícios supino reto e leg press.....	93
Tabela 5 – lactacidemia de repouso, valor pico e variação da lactacidemia dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	94
Tabela 6 – gasto energético anaeróbio láctico (GEAn) total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	95
Tabela 7 – gasto energético aeróbio (GEAe) total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	97
Tabela 8 – gasto energético total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	98
Tabela 9 – Participação dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico na produção de energia dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	99
Tabela 10 – gasto energético para 1000kg de trabalho total (KCal/t) dos grupos masculino e feminino nos exercícios supino reto e leg press.....	100
Tabela 11. modelos de predição do GE em função do percentual de 1RM dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.....	101
Tabela 12. Valor do GE (KCal/rep) de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press entre 40 e 100% de 1RM.....	103

SUMÁRIO

1. Introdução.....	15
1.1. Aspectos históricos sobre o estudo do gasto energético.....	15
1.1.1 Antiguidade.....	15
1.1.2 Idade média.....	16
1.1.3 Renascença e teoria do flogisto.....	17
1.1.4. Descoberta de oxigênio e dióxido de carbono e a queda da teoria do flogisto.....	17
1.1.5. Era de desenvolvimento da calorimetria.....	20
1.1.6. Calorimetria no desenvolvimento da nutrição e no uso clínico.....	23
1.1.7. Aparatos modernos de calorimetria indireta e descobertas recentes.....	27
1.2. Métodos de análise do gasto energético.....	28
1.2.1. Calorimetria direta.....	28
1.2.2. Calorimetria indireta.....	29
1.2.3. Métodos não calorimétricos.....	33
1.2.3.1. Água duplamente marcada.....	33
1.2.3.2. Monitoramento da Frequência Cardíaca.....	34
1.2.3.3. Acelerômetros.....	36
1.2.3.4. Smartphones.....	38
1.2.3.5. Uso de GPS.....	39
1.2.3.6. Questionários e diários.....	40
1.2.4. Conclusão sobre os métodos de determinação do GE.....	41
1.3. Importância do estudo do gasto energético no exercício.....	42
1.3.1. Adequação nutricional.....	42
1.3.2. Prevenção do aumento da massa corporal.....	44
1.3.3. Relação entre gasto energético e mortalidade.....	46
1.3.4. Inclusão do exercício no emagrecimento.....	49
1.3.4.1. Termogênese adaptativa.....	51
1.3.4.2. Redução na quantidade de atividade física.....	52
1.3.4.3. Aumento da ingestão energética.....	54
1.3.4.3.1. Efeitos agudos do exercício sobre a ingestão energética.....	55
1.3.4.3.2. Efeito crônico do exercício sobre a ingestão energética.....	58

1.3.5. Déficit energético seguro.....	60
1.4. Gasto energético no treinamento resistido.....	63
1.4.1. Ergogênese do TR.....	65
1.4.2. Efeitos das variáveis do treinamento resistido.....	68
1.4.2.1. Efeito do volume de treinamento sobre o gasto energético.....	68
1.4.2.2. Efeito da densidade do treino no GE.....	70
1.4.2.3. Efeito da intensidade do treino no GE.....	72
1.4.3. Conclusões sobre o GE do treinamento resistido.....	73
2. Justificativa do estudo.....	75
3. Objetivos.....	77
3.1 Objetivo geral.....	77
3.2 Objetivos específicos.....	77
4. Materiais e métodos.....	78
4.1. Aspectos éticos e legais da pesquisa.....	78
4.2. Amostra.....	78
4.3. Desenho experimental.....	79
4.4. Procedimentos.....	80
4.4.1. Análises antropométricas.....	80
4.4.2. Padronização da mecânica de execução dos exercícios.....	81
4.4.3. Teste e reteste de 1 repetição máxima.....	84
4.4.4. Cálculo dos pesos e determinação do percentual real de 1RM durante os protocolos.....	84
4.4.5. Protocolos de determinação do GE.....	85
4.4.6. Formas de cálculo do gasto energético do exercício.....	88
4.5. Análise estatística.....	89
5. Resultados.....	91
5.1. Valor de 1 repetição máxima e percentuais utilizados nos testes.....	91
5.2. Número máximo de repetições e relação com percentual de 1RM.....	91
5.3. Trabalho total.....	92
5.4. Lactacidemia.....	93
5.5. Gasto energético do exercício.....	94
5.5.1. Gasto energético anaeróbio.....	94
5.5.2. Gasto energético aeróbio.....	95

5.5.3. Gasto energético total e ergogênese.....	97
5.5.4. Relação entre gasto energético e trabalho total.....	99
5.6. Modelos de predição do gasto energético.....	100
6. Discussão.....	104
7. Conclusões.....	111
7.1. Aplicações práticas.....	111
8. Referências.....	112
ANEXO 1 – Termo de consentimento livre e esclarecido.....	130
ANEXO 2 – Parecer de aprovação do projeto de pesquisa.....	132

1. Introdução

1.1. Aspectos históricos sobre o estudo do gasto energético

1.1.1 Antiguidade

O primeiro conceito que remete ao calor corporal é o de calor inato, descrito na Grécia antiga antes de 460 a.C. Nesta época, acreditava-se que o corpo vivia em função do balanço de quatro humores: o sangue, originado no coração; a bile amarela, originada no fígado; a bile preta, originada no baço e o fleuma, originado no cérebro. O calor inato era o responsável por originar estes humores no coração a partir da comida ingerida e movê-los e misturá-los no corpo para que o organismo ficasse em equilíbrio. Na ausência deste equilíbrio dos humores, o corpo adoeceria (HANSOTIA, 2003).

Hipócrates (460-370 a.C.) apresentava particular interesse sobre o metabolismo por verificar que adultos não aumentavam sua massa corporal apesar de que a quantidade de alimentos e água ingeridos era muito superior à sua excreção. Ele defendia que os seres humanos recebiam o calor inato vindo do cosmos no seu nascimento e que a respiração funcionava para esfriar este calor e prolongar a vida (FRANKENFIELD, 2010; PUENTE, 2010).

Platão (427-347 a.C) era contemporâneo a Hipócrates e acreditava não apenas que a respiração servia para resfriar e conservar o calor inato como para eliminar resíduos do organismo aos quais ele se referia como fuligens (DURLING, 1988). De acordo com Hipócrates, o calor inato era considerado uma fonte esgotável e o processo de envelhecimento estava associado à perda de umidade no organismo bem como à diminuição deste calor (RITCH, 2012), de maneira que o homem era mais quente no dia em que nascia e mais frio no dia em que morria (ZATERKA, 2015).

Hipócrates também foi o primeiro a relacionar a temperatura corporal com doenças. De acordo com Hipócrates, quando uma região do corpo não funcionava corretamente, a sua temperatura aumentava ou diminuía e ele conseguia comprovar esta mudança na temperatura aplicando barro sobre o corpo e verificando onde ele secaria mais rápido, dando início ao estudo da termografia (BRIOSCHI, 2008).

Aristóteles (384-322 a.C.), discípulo de Platão, progrediu na filosofia de Hipócrates defendendo a união entre corpo e alma, com o coração como localização da alma. Ele acreditava que o calor era gerado no lado esquerdo do coração e espalhado para todo o corpo através da circulação e seguia na crença de que uma quantidade de calor era recebida no nascimento e se esvaecia durante o envelhecimento (RITCH, 2012). Seus experimentos envolviam enclausurar animais em pequenos recipientes, sem possibilidade de ventilação. Mantendo-se fiel aos conhecimentos da época, ele hipotetizava que os animais morriam pela incapacidade de resfriarem o seu calor inato (LEIGH, 1974).

Galeno (131-201 d.C) foi o primeiro a postular que o envelhecimento era um processo natural e não uma doença, mas que era possível influenciar e retardar o processo de envelhecimento, especialmente por meio da prática de exercícios físicos e boa dieta, que promoveriam o aumento de umidade e temperatura corporal, ao que ele se referia como “arte gerocomica” (RITCH, 2012). De acordo com Galeno, o calor inato influenciava os processos de nascimento, crescimento e declínio do corpo humano, além da absorção de comida (ZATERKA, 2015). Neste conceito, idosos deveriam consumir menor quantidade de alimentos pois o seu fogo era mais fraco (RITCH, 2012).

Outra importante descoberta de Galeno foi a respeito da circulação sanguínea. Diógenes (412-323 a.C) realizava dissecações e, devido ao aspecto apresentado pelas veias, pensava que os vasos transportavam apenas ar. Galeno demonstrou que os vasos transportavam sangue ao invés de ar e suas descobertas anatômicas perduraram mais de 1400 anos (LEIGH, 1974).

1.1.2 Idade média

A idade média, que compreende o período entre a queda do Império Romano, em 476 d.C até a tomada de Constantinopla pelos turcos otomanos, em 1453, foi um período em que poucos avanços foram realizados sobre o calor humano. Nesta época, os princípios do calor inato ainda eram seguidos e a teoria era de que os movimentos corporais ou a fricção do sangue auxiliavam na produção de calor corporal (FRANKENFIELD, 2010).

Este conceito de que a fricção do sangue era responsável por produzir calor no organismo só foi possível devido à descoberta de Galeno sobre a circulação. Entretanto, até então, acreditava-se que os pulmões eram responsáveis pela

movimentação do sangue no corpo, o que só foi provado contrário por William Harvey (1578-1657), que demonstrou que o coração era o responsável por promover movimento ao sangue por uma fase ativa denominada sístole (RIBATTI, 2009).

1.1.3 Renascença e a teoria do flogisto

Neste período, significativos avanços foram realizados e muitos dos conceitos criados são utilizados até hoje. O primeiro cientista a desafiar o modelo grego do calor inato foi o médico inglês Jhon Mayow (1643-1679). No ano de 1674 ele conduziu experimentos com animais e velas e percebeu que ambos consumiam uma porção do ar e morriam sem ela. Seu experimento foi significativo no sentido de demonstrar que o ar é uma mistura de componentes, pois até então acreditava-se que o ar era constituído por um único elemento (FRANKENFIELD, 2010).

Apesar de seus resultados impressionantes e das provas que ele exibiu de que a respiração de fato consumia uma quantidade de ar, ele não conseguiu modificar a crença da época. A partir de seu trabalho, Johhan Jochaim Becher (1632-1682) e Ernest Stahl (1660-1734) criaram a teoria de uma substância denominada flogisto, palavra derivada de “arder”, na língua grega, publicada em sua obra “*Physica Subterrânea*”, em 1669 (BRITO, 2008). Toda a base conceitual para a descoberta do oxigênio (O₂) estava preparada, entretanto, esta teoria atrasou a sua descoberta em quase 1 século (LEIGH, 1974).

De acordo com esta teoria, todas as substâncias inflamáveis consistiam de uma combinação de uma matéria terrosa (cal), que era peculiar a cada substância e o flogisto, comum a todas. Quanto mais inflamável uma substância, maior a sua quantidade de flogisto e menor a quantidade de cinzas resultantes de sua queima (LEIGH, 1974, BRITO, 2008).

A combustão era explicada como o abandono da matéria pelo flogisto e sua liberação no ar (BRITO, 2008), por isso, acreditava-se que o calor dos seres humanos e outros animais era proveniente do flogisto e que respiração era a maneira que o eliminávamos (FRANKENFIELD, 2010).

1.1.4 Descoberta de oxigênio e dióxido de carbono e a queda da teoria do flogisto

Os principais conhecimentos que auxiliam a derrubar a teoria do flogisto foram os experimentos realizados por Joseph Black (1728-1799) e Joseph Priestley

(1733-1804). Black foi o responsável pela descoberta do dióxido de carbono (CO_2), em 1754, que ele denominou de “ar fixo”, e criou técnicas experimentais que seriam mais tarde incorporadas nos primeiros calorímetros (FENBY, 1987, BRITO, 2008; FRANKENFIELD, 2010). Um dos seus experimentos consistia em colocar um objeto de massa e temperatura conhecidas dentro de uma câmara inserida em um bloco de gelo. À medida em que o objeto liberava calor, ele derretia o gelo e formava água. A estimativa da quantidade de calor era possível pois nesta época a lei do calor latente já fora estabelecida (FENBY, 1987; FRANKENFIELD, 2010).

Black descreveu equações que explicavam a liberação do CO_2 e demonstrou sua liberação como resultado de queima de carvão, fermentação e também na respiração (LEIGH, 1974). Ele estava convencido de que a respiração promovia a troca de parte de, se não todo, o ar atmosférico em “ar fixo”, de acordo com observações feitas com respiração e alcalino cáustico. Para provar a sua teoria, ele teria realizado um experimento com água de lima em trapos colocados em uma igreja onde 1.500 pessoas permaneceram em oração por mais de 10 horas, mas, infelizmente, detalhes deste experimentos estão perdidos atualmente (WEST, 2014).

A descoberta feita por Joseph Priestley, em 1774 e publicada em 1775, foi do oxigênio (O_2). Em 1775, ele realizou experimentos e demonstrou que seu novo composto era entre 4 a 5 vezes melhor que o ar comum – cabe ressaltar que o ar contém cerca de um quinto de oxigênio em sua composição – e que esta amostra do seu ar era capaz de sustentar a respiração de um camundongo por mais tempo que o ar atmosférico (PARTINGTON, 1962). Apesar de seu importante achado, Priestley ainda era um adepto da teoria do flogisto e, por isso, denominou o oxigênio de “ar deflogisticado” (BRITO, 2008).

Apesar do crédito da descoberta do O_2 ser atribuída a Priestley, há evidências de que Carl Wilhelm Schelle (1742-1786), um químico e farmacêutico sueco sem relação de trabalho com Priestley, teria descoberto o O_2 pouco tempo antes, de acordo com algumas notas de seu laboratório feitas nos anos de 1771 e 1772 (PARTINGTON, 1962). Entretanto, Schelle apenas publicou os seus achados em uma obra no ano de 1777, o que deixou os louros da descoberta do O_2 a Joseph Priestley (BRITO, 2008).

A disputa entre os dois foi acirrada pelo fato de que Schelle enviou sua notas para a publicação de sua obra em 1775 e estas foram avaliadas por Tobern Bergman (1735-1784), que reproduziu os experimentos de Schelle com algumas

modificações e os confirmou. A demora na publicação foi atribuída ao tempo necessário para que os experimentos fossem conduzidos, mas gerou acusações de que Bergman estaria se comunicando com Priestley para informá-lo dos resultados. Priestley negou as acusações veementemente e, ao que tudo indica, ele e Schelle não tinham qualquer conhecimento do trabalho do outro neste período (PARTINGTON, 1962).

O trabalho combinado de Black, Priestley e Schelle e outros importantes pesquisadores foi base para Lavoisier, que derrubou a teoria do flogisto e, por isso, é considerado o fundador da química moderna (BRITO, 2008). Dentre suas várias descobertas, a mais relevante em relação à respiração foi a demonstração de que o ar exalado não apenas continha maior quantidade de CO_2 mas também menor quantidade de O_2 sendo portanto, a primeira evidência clara das trocas gasosas no organismo. Entretanto, a teoria postulada naquele momento era a de que o O_2 atmosférico reagia com átomos de carbono no sangue para formar o CO_2 e esta reação liberava calor e por isso não tinha nenhuma ligação ao flogisto (FRANKENFIELD, 2010).

Há também autores que creditem que o nome oxigênio (*oxygine*) foi dado por Lavoisier, em 1777, apesar de que outros pesquisadores previamente haviam descoberto este gás sem tê-lo necessariamente nomeado. No séc. XVII, o farmacêutico polonês Michael Sendivogius (1566-1636) teria produzido oxigênio esquentando nitrato de potássio e o engenheiro e inventor holandês Cornelis Drebbel utilizou oxigênio purificado para respiração dentro de seu submarino, quando 12 remadores ficaram submergidos e remaram uma distância de aproximadamente 11km entre Westminster e Greenwich (POOLE E JONES, 2012).

O abandono da teoria do flogisto foi substituído pelo que Lavoisier denominou de calórico. Ele defendia que todos os corpos possuíam esta substância, que tinha massa desprezível, era fluida e invisível e que corpos de maior temperatura eram aqueles que possuíam maior quantidade de calórico (TAVARES E PRADO, 2010). Lavoisier ainda postulava que se o calórico se unisse a um sólido, formaria o líquido e, na união com o líquido, formaria o gasoso (BRITO, 2008).

Juntamente com o físico Simon Laplace, no ano de 1783, Lavoisier construiu o primeiro calorímetro direto. O objetivo deste equipamento era verificar se a liberação de calor pelo CO_2 era a mesma na respiração de uma cobaia animal e da combustão de carvão, para provar que a respiração gerava calor corporal

(FRANKENFIELD, 2010). O calorímetro de Lavoisier e Laplace consistia de um compartimento interno e outro externo, ambos preenchidos com gelo. Um objeto previamente aquecido era colocado no compartimento interno e promovia o derretimento do gelo, e a água resultante vazava por uma torneira. Esta quantidade de água era pesada e desta maneira era possível determinar a quantidade de calor liberada (TAVARES E PRADO, 2010).

Este experimento de Lavoisier e Laplace demonstrou uma relação entre a produção de CO_2 e o derretimento do gelo. Entretanto, houve uma diferença de 20% na quantidade de água produzida pelo derretimento do gelo entre o carvão e a cobaia animal, o que provavelmente é explicado pelo aumento na temperatura corporal da cobaia exposta ao frio. Posteriormente, o médico e químico Adair Crawford (1748-1795) produziu um calorímetro similar, mas que utilizava água ao invés de gelo e encontrou uma concordância de 90% entre a queima do carvão e o metabolismo da cobaia. Satisfeito com esta relação, Lavoisier fez o primeiro estudo com humanos, por meio de medida de consumo de O_2 . Ele verificou consumo de repouso de 400mL/min, que subia para 450mL/min em ambiente frio, 635mL/min após ingestão alimentar e 1085mL/min durante esforço leve (FRANKENFIELD, 2010). Assim, a primeira calorimetria realizada com humanos foi indireta.

1.1.5 Era de desenvolvimento da calorimetria

No início do séc. XIX, a teoria do flogisto já havia sido derrubada e a teoria da oxidação de Lavoisier era amplamente aceita. Entretanto, algumas lacunas ainda existiam, como a lacuna de 20% encontrada no calorímetro de Lavoisier que ainda não havia sido explicada. Neste aspecto, acreditava-se que o experimento era falho ou que havia mais alguma fonte de produção de calor no organismo – a teoria da fricção do sangue ainda era amplamente aceita (FRANKENFIELD, 2010).

Outro importante aspecto do início do séc. XIX era a crença de que o CO_2 era formado nos pulmões a partir da reação do O_2 com o carbono da alimentação. Esta teoria foi derrubada pelo alemão Gustav Magnus (1802-1870) que, em 1837, provou haver diferença arteriovenosa de CO_2 . Seus resultados permitiram concluir que o CO_2 não era formado nos pulmões, mas sim nos tecidos (HUTTMANN et al., 2014).

Alan e Pepys (1808) publicaram uma série de experimentos que promoveram grande progresso na utilização de aparatos de análise de gases respiratórios. De acordo com os autores, os trabalhos anteriores de Mayhow, Priestley e Lavoisier,

apesar de produzirem avanços significativos, ainda deixavam um desiderato no que diz respeito à quantidade de ar nos pulmões durante as análises. Eles construíram um aparato com 3 gasômetros, sendo 1 de água destilada e capacidade de 50 a 65 litros e outros dois com mercúrio, para análise de CO₂ expirado. Este aparato permitiu experimentos com duração de até 11 minutos em respiração calma e permitiu a conclusão de que a quantidade de CO₂ expirada era igual à de O₂ consumida e de que o hidrogênio e outros gases não eram utilizados na respiração. Além disso, eles foram capazes de determinar que indivíduos realizavam cerca de 19 ciclos respiratórios por minuto, com volume corrente de cerca de 260 a 280mL, mas com grande variação individual.

Nesta época, calorímetros rudimentares para a uso com humanos existiam. Eles eram utilizados para estudo do ar atmosférico e não de necessidades metabólicas. Em 1824, outros calorímetros, que combinavam análises diretas e indiretas foram produzidos mas ainda não eram capazes de resolver a lacuna de 20% encontrada nos experimentos de Lavoisier (FRANKENFIELD, 2010).

Entre o final do séc XVIII e início do séc. XIX, mais precisamente entre os anos de 1787 e 1824 parece ter surgido o termo caloria. Este termo ainda não havia sido utilizado por Lavoisier, que utilizava apenas os termos “calórico” e calor em seus estudos. Alguns autores dão os créditos do termo caloria a Favre e Silberman, entretanto, em 1852, estes pesquisadores da área da termodinâmica declaram que usavam um termo vindo da física, que se refere à quantidade de calor necessária para elevar a temperatura de 1g de água em 1° C (HARGROVE, 2006).

Esta medida de energia foi amplamente utilizada, especialmente na década de 1850, até que, entre 1877 e 1879, Marcellin Berthelot a definiu como uma g-caloria ou pequena caloria e que uma grande caloria equivalia a 1000 pequenas calorias e as distinguiu usando a grande caloria com letra maiúscula (Caloria) e que, posteriormente, ainda seria referida pela abreviação até hoje utilizada de KCal (HARGROVE, 2006).

Baron Justus von Liebig (1803-1873) foi um pupilo de Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) que estudou a química dos alimentos e foi o primeiro a demonstrar que os alimentos poderiam ser separados em 3 constituintes: carboidratos, lipídeos e proteínas (WILDER, 1959). Este conhecimento seria utilizado posteriormente em duas linhas principais: o conhecimento dos constituintes dos alimentos e sua consequente produção calórica e para o conhecimento da

utilização de substratos energéticos, a partir da relação entre o consumo de CO_2 e a produção de O_2 , o denominado quociente respiratório (QR).

Por volta de 1849, Henri Regnault (1810-1878) descreveu um calorímetro de circuito fechado que era utilizado com animais pequenos. Este equipamento descrito por ele parece ser importante pelo fato de que os calorímetros da década de 1920 o referenciavam frequentemente. Além disso, ele conseguiu demonstrar mudanças no QR em função da alimentação e quebrou a crença da época que era a variação dos valores entre espécies (FRANKENFIELD, 2010). O seu estudo seria capaz de analisar o QR de humanos, mas ele não foi possível devido à falta de fundos para progredir em sua pesquisa. Entretanto, Regnault foi o primeiro a demonstrar uma relação entre a superfície corporal e o consumo de oxigênio, que era maior em pardais comparado a galinhas (WILDER, 1959).

Smith (1859) descreveu os métodos até então utilizados para o estudo da produção de CO_2 , que ele resumiu em três tipos: o primeiro consistia de uma bolsa ou outro recipiente de capacidade conhecida, no qual o ar era expirado por um período de tempo e com número contado de ciclos respiratórios. O aparato ainda continha um tubo pelo qual passava parte do ar expirado e o CO_2 era absorvido por potássio, carbonato de sódio ou água de lima e servia para experimentos com duração de apenas alguns segundos; o segundo consistia de uma caixa com capacidade suficiente para que um homem permanecesse sentado, totalmente selada, exceto por pontos onde havia entrada e saída de ar em direção determinada para a produção de CO_2 com uso de potássio. Este aparato coletava o que se considerava a produção de CO_2 dos pulmões e da pele, durante período máximo de uma hora e meia. Sua limitação era o fato de que o ar era respirado mais de uma vez e não era simples comprovar quanto de CO_2 ainda permanecia dentro do aparato; o terceiro tipo empregava uma máscara com a capacidade de um ciclo respiratório sobre a face e uma corrente contínua de ar induzida por um aparato analítico sem que houvesse esforço respiratório. Este equipamento possibilitava análises de até 30 minutos, mas como nem todo o ar que entrava na máscara era ventilado nos pulmões, não era possível determinar o volume de ar inspirado. Desta forma, ele desenvolveu um aparato de mensuração da produção de CO_2 que permitia sua mensuração por períodos indefinidos e fez experimentos com e sem esforço físico, com e sem comida e durante as 24 horas do dia, além de verificar

variações entre dias e estações do ano, o efeito de caminhar e esforços com rodas dentadas.

Um dos mais renomados discípulos de von Liedbig foi Carl von Voit (1831-1908). A partir de 1862, na Alemanha, Carl von Voit iniciou as primeiras explorações sobre o uso de substratos energéticos em humanos (FRANKENFIELD, 2010), utilizando mensurações do CO₂ expirado e do nitrogênio excretado (WILDER, 1959). Ele se baseou nos estudos de Lavoisier e conseguiu corrigir um erro do seu antecessor: Lavoisier acreditava que o CO₂ era produzido nos pulmões, em reação com o oxigênio, mas ele demonstrou que o consumo de oxigênio era, na verdade, parte do metabolismo celular e, junto de Gustav Magnus (1802-1870) e Edward Pfeuger (1829-1910), comprovou que este consumo ocorria nos músculos esqueléticos e órgãos distais (da POIAN et al., 2010; POOLE E JONES, 2012). Voit também conduziu uma série de experimentos para determinar o consumo de carboidratos, lipídeos e proteínas em diversas condições de saúde e doença (FRANKENFIELD, 2010).

Também no ano de 1862, Haldane postulou que o nitrogênio e alguns gases pouco abundantes na atmosfera como argônio e hélio não eram absorvidos e nem produzidos pelo organismo de animais durante os experimentos (HALDANE, 1982). Desta forma, a partir da conservação de gases inertes que passam por um calorímetro, ele criou um importante princípio aplicado até hoje denominado transformação de Haldane, que permite o cálculo da diferença entre os volumes inspirado e expirado (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017).

1.1.6 Calorimetria no desenvolvimento da nutrição e no uso clínico

O período entre o final do século XIX e o início do século XX foi marcado por diversos avanços no uso da calorimetria que possibilitaram o nascimento da ciência da Nutrição bem como a futura aplicação da calorimetria no âmbito clínico. Três discípulos de Voit se destacam neste aspecto: Max Rubner, Nathan Zuntz e Wilbur Olin Atwater.

Max Rubner (1854-1932) foi um fisiologista alemão que conseguiu, na década de 1890, uma concordância de 99,7% entre o calorímetro e as trocas respiratórias de cachorros, fechando, após 110 anos, a lacuna deixada pelo primeiro estudo de Lavoisier (FRANKENFIELD, 2010). Este marco foi importante pelo fato de que o termo aparato respiratório passou a ser denominado de calorimetria indireta. Rubner

também foi o primeiro a demonstrar a produção calórica dos nutrientes. Ele reportou que carboidratos e proteínas armazenavam 4,1KCal/g e as gorduras 9,3KCal/g (WILDER, 1959).

Nesta mesma década, Nathan Zuntz (1847-1920), outro fisiologista alemão estabeleceu as condições para se definir o estado de repouso, que são até hoje padrão para mensurações metabólicas em condições de saúde e doença e demonstrou que o QR pode variar de 0,70 a 1,00 (FRANKENFIELD, 2010).

Zuntz desenvolveu o primeiro aparato respiratório portátil. Ele consistia de uma máscara ajustável ao rosto com válvulas operadas manualmente, um tonômetro de mercúrio para coleta do ar expirado e análises posteriores e foles para a mensuração da ventilação, além de um chapéu opcional que media a velocidade do vento. Este equipamento era extremamente incômodo, mas era muito preciso na determinação do QR e foi o que serviu de inspiração para a criação do respirometro de Kofrayni-Michaelis, que pesava originalmente apenas 4,3 kg e foi o primeiro a permitir o estudo da calorimetria em situações ambulatoriais (KENNY et al., 2017).

Wilbur Olin Atwater (1844-1907), amplamente embasado nos trabalhos de Karl Friedrich Mohr (1806-1879) sobre energia, realizou um compêndio do que se conhecia até o momento sobre o potencial energético dos alimentos (ATWATER, 1887). Mohr defendia que além dos elementos químicos havia apenas uma força no mundo material – a energia – e que ela pode se interconverter entre suas diferentes formas: mecânica, elétrica, química, etc.

Assim, Atwater (1887) descreve a importante relação entre os alimentos e a conversão de energia no organismo, citando o exemplo de um ferreiro. Antes da criação de palitos de fósforo, os ferreiros precisavam martelar um pedaço de ferro para que ele esquentasse e pudesse auxiliar na produção de fogo. Desta forma, a energia da contração muscular era transformada em energia mecânica para o movimento do martelo e, em seguida, ocorria a liberação de calor do ferro martelado.

Atwater (1887) ainda explicou que o poder do vapor que movia navios, trens e máquinas industriais contém a mesma energia que estava presente nos pastos e grãos de trigo era convertida por animais e humanos, para que tivessem energia para contração muscular ou trabalho cerebral. Esta relação foi definida pois nesta época ele tinha intenção de educar a população dos Estados Unidos sobre a importância de uma alimentação mais saudável. O fato de que Atwater escolheu a

quilocaloria como unidade de medida naquela época é a razão de que atualmente ainda se usa esta medida nos rótulos dos alimentos (HARGROVE, 2006).

Um dos aspectos interessantes a respeito do trabalho de Atwater (1887) é a continuidade da crença de que a fricção do sangue produz calor corporal. Entretanto, ele também apontava para outros fatores que contribuíam para o metabolismo como a respiração, manutenção da circulação sanguínea e digestão e também já era conhecido na época que a maior parte da energia do nosso organismo era liberada na forma de calor.

Em 1892, Atwater, junto de Edward Rosa (1861-1921) iniciaram a construção do primeiro calorímetro a ser utilizado com seres humanos, denominado calorímetro Atwater-Rosa, que teve sua construção finalizada cinco anos após, em 1897. Este aparato era capaz de realizar tanto a medida do consumo de oxigênio quanto a produção de calor (KENNY et al., 2017).

Atwater ainda empregou e treinou, a partir do ano de 1893, Francis Benedict (1870-1957). Benedict era um grande entusiasta do uso da calorimetria indireta devido à sua praticidade. Ele estudou o metabolismo em função de idade, gênero e etnia, além de condições de saúde, doença e exercício e criou equações de predição que levam o seu nome (FRANKENFIELD, 2010).

No âmbito clínico, Adolf Magnus-Levy (1895-1955) foi um estudante de Zuntz que empregou o aparato respiratório de seu mentor para trabalhos com a calorimetria indireta em medicina clínica, em 1895. Seus trabalhos incluíram insuficiência cardíaca, câncer, disfunções na tireoide, mixedema e febre induzida por infecção (FRANKENFIELD, 2010).

Nessa época, já estavam disponíveis diversos calorímetros que, em geral, comportavam uma pessoa sentada ou deitada para análise do metabolismo em repouso, mas também haviam câmaras suficientes para que mais de uma pessoa fosse analisada ao mesmo tempo (CARPENTER, 1933). Com esses avanços, uma série de estudos foi publicada sobre a calorimetria clínica que envolve o metabolismo no diabetes (ALLEN e du BOIS, 1916; RICHARDSON E LEVINE, 1925), gota (RICHARDSON et al., 1926) e efeitos do consumo de refeições com grande quantidade de carnes em humanos (McCLELLAN et al., 1930; McCLELLAN e du BOIS, 1930) e cachorros (WILLIAMS et al., 1912). Além destes estudos, Michaelis (1924) criou um nomograma para o cálculo do gasto energético a partir da relação entre oxigênio e nitrogênio no ar e do QR.

A partir de 1918, Benedict fez mais um importante avanço ao substituir o método de análise do vapor d'água de ácido sulfúrico por cloreto de cálcio e eliminar a análise de CO₂. Isto tornou o equipamento portátil e ele pode estudar o metabolismo basal de pessoas de diferentes etnias em diversos locais do mundo e em circunstâncias antes impossíveis de serem analisadas (CARPENTER, 1933). No início da década de 1920, pelo menos quatro aparatos estavam comercialmente disponíveis e nenhum deles fazia a mensuração do CO₂, apesar de contarem com métodos para que este fosse removido das amostras de ar analisado. Assim, era necessário que se assumisse um valor de QR e o gasto energético era inferido a partir da relação com o consumo de oxigênio, o que gerava dificuldade na interpretação dos dados devido às diferentes produções calóricas de substratos energéticos para cada litro de oxigênio metabolizado. (FRANKENFIELD, 2010).

Benedict também foi o primeiro a comprovar que a quantidade de vapor d'água e CO₂ eliminados é superior à quantidade de O₂ metabolizado, em taxa de aproximadamente meio grama por minuto, o que é denominado "perspiração insensível" (CARPENTER, 1933). Este termo, na verdade, já havia sido utilizado em 1614 por Santorio Sanctorius (1561-1636), um médico e fisiologista italiano que havia percebido uma diferença entre o peso de todos os alimentos consumidos e de todos os excrementos produzidos. Mesmo sem saber na época, ele havia descoberto o peso do carbono que deixava o organismo na forma de CO₂ (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017).

As décadas seguintes foram de redução nas aplicações da calorimetria tanto no âmbito nutricional quanto no clínico. Weir (1948) alegava que a redução no seu uso era o fato de que o cálculo do metabolismo pela calorimetria indireta era demasiadamente incômodo e que o metabolismo das proteínas era ignorado. Assim, ele determinou os cálculos para a relação entre o consumo de oxigênio e o gasto energético sem as proteínas, o que hoje é conhecido como QR não proteico e simplificou o uso do QR. Este método é utilizado em muitos softwares atuais.

Além dos cálculos propostos por Weir (1948), outros avanços que contribuíram significativamente para o retorno do uso da calorimetria indireta foram a análise paramagnética de oxigênio e infravermelha de CO₂.

Um dos poucos trabalhos que se pode destacar é o de Cuthbertson que, em 1930, passou a utilizar as bolsas de Douglas para o estudo do metabolismo após lesão (FRANKENFIELD, 2010). Estas bolsas possuíam capacidade de 30 a 100

litros e eram carregadas nas costas do avaliado. Ele respirava por um período de tempo nas bolsas, as quais eram levadas posteriormente para análise do conteúdo gasoso (WILDER, 1959). Douglas, o criador destas bolsas, em 1911, sugeria que cada bolsa utilizada devia ser observada para que se certificasse que a taxa de difusão de ar era negligenciável. Entretanto, mesmo com essa cautela na seleção das bolsas, ainda poderia acontecer algum vazamento de CO₂ (SHEPARD, 1955).

Em 1947, Per Fredrik Scholander (1905-1980) desenvolveu um aparato que permitia a análise da concentração de oxigênio, dióxido de carbono e nitrogênio em pequenas amostras gasosas, de 0,5mL ou menos e funcionava para amostras com 0 a mais de 99% de concentração de gases absorvíveis, em análise que durava de 6 a 8 minutos. Scholander comparou amostras de ar atmosférico e ar expirado com a técnica desenvolvida por Haldane e verificou que seu aparato tinha precisão de 0,015mL a cada 100mL de amostra (SCHOLANDER, 1947). Esta técnica ainda é utilizada até hoje para análises gasosas.

1.1.7 Aparatos modernos de calorimetria indireta e descobertas recentes

Devido à sua praticidade e portabilidade, os aparatos para calorimetria indireta retomaram a popularidade especialmente a partir da década de 1970. Os aparatos atuais são em geral de circuito aberto, onde o avaliado respira ar ambiente, associados a computadores ou softwares e portáteis. Uma das maneiras mais comuns de se mensurar a ventilação é através dos pneumotacógrafos, que transformam a pressão do fluxo de ar em volume. O CO₂ é mensurado por absorptometria infravermelha e o O₂, em geral, por células eletroquímicas em que a adesão de moléculas produz uma corrente (FRANKENFIELD, 2010).

Outro grande avanço na calorimetria indireta é a produção de equipamentos por telemetria, que permitem a avaliação instantânea das variáveis, mesmo à distância. Estes aparatos serão descritos mais adiante.

Atualmente, os avanços científicos permitidos pela calorimetria indireta moderna incluem o desenvolvimento de equações atualizadas, o estudo do metabolismo de pacientes em estado crítico (o que dispensa o uso de equações adaptadas a partir de dados de indivíduos saudáveis) e o desenvolvimento de equações para estas populações (FRANKENFIELD, 2010). Conforme será abordado mais adiante neste trabalho, a calorimetria indireta também foi empregada no

conhecimento do gasto energético de diversas formas de exercício, dentre elas, os exercícios resistidos (ER).

Assim, desde a primeira calorimetria indireta realizada com humanos por Antoine Lavoisier, em 1783, este método continua sendo atualizado e gerando importantes conhecimentos. A próxima seção descreve os diferentes métodos disponíveis atualmente para o estudo do gasto energético do exercício e da atividade física.

1.2 Métodos de análise do gasto energético

Desde o primeiro calorímetro construído por Lavoisier para a análise de pequenos animais e durante curtos períodos, diversos avanços foram realizados na calorimetria. De acordo com Levine (2005), os métodos disponíveis podem ser divididos em três categorias: a calorimetria direta, a calorimetria indireta e os métodos denominados não calorimétricos. Cada um destes será descrito a seguir com os seus princípios metodológicos.

1.2.1 Calorimetria direta

A calorimetria direta exige que um animal ou indivíduo seja colocado dentro de uma câmara isolada do ambiente, para a medida da sua produção de calor, oriunda de diversos processos metabólicos orgânicos que inclui a produção aeróbia e anaeróbia de energia. Este método é baseado no princípio da conservação de energia, que dita que a quantidade total de energia de um sistema isolado não pode ser aumentada ou diminuída, apenas pode ocorrer a transformação de um tipo de energia a outro (KENNY et al., 2017).

Diversos tipos de calorímetros já foram construídos e atualmente eles podem ser divididos em três categorias principais: os sistemas isotérmicos, que consistem de câmara circundada por material isolante e promove um gradiente de temperatura entre a parte interna e externa da câmara que é proporcional à quantidade de calor produzida. Este método tem resposta em menos que 5 minutos e erro abaixo de 1%; os sistemas adiabáticos, onde o calor é extraído por um trocador de calor resfriado a água e zero gradiente de temperatura entre câmara e ambiente. Estes têm resposta em 10 a 30 minutos e erro de 1 a 2% e; os sistemas de convecção que consistem em câmara isolada e passagem de água ou ar em quantidade e temperatura conhecidas. A variação de temperatura do ar ou da água correspondem à

quantidade de calor liberado pelo organismo. Este método apresenta resposta em 10 a 20 minutos e erro de 1 a 2% (LEVINE, 2005).

Para que a análise seja a mais precisa possível, é necessário que se certifique que o gradiente de temperatura seja zero, ou seja, que haja devido isolamento térmico entre a câmara e o ambiente, que se tenha extrema precisão nos sistemas de controle de temperatura e umidade e que o fluxo de água ou ar no caso dos sistemas de convecção sejam devidamente ajustados ao tamanho do calorímetro (KENNY et al., 2017).

Apesar de ser considerada como método padrão ouro, a calorimetria direta não está isenta de desvantagens. Este método é extremamente caro em sua aquisição e manutenção, exige técnicos com alta expertise, implica em dificuldades para ser associado a medidas invasivas, exige grande quantidade de tempo para pesquisadores e sujeitos de pesquisa e cria um ambiente tão artificial que pode dificultar a realização de diversas atividades (REIS et al., 2000; LEVINE, 2005; SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017). Além disso, a precisão que a calorimetria direta apresenta não é muito superior à da calorimetria indireta, que possui métodos mais baratos e menos complexos (LEVINE, 2005). Entretanto, este método ainda é amplamente utilizado no estudo da termorregulação e é de extrema importância na validação de métodos indiretos (KENNY et al., 2017).

1.2.2 Calorimetria indireta

Apesar da calorimetria direta ser considerada o padrão ouro na determinação do GE, ela possui as limitações supramencionadas e, por isso, a calorimetria indireta é atualmente o método mais popular em estudos e na prática clínica. Esta técnica tem sido utilizada há mais de dois séculos, desde o primeiro experimento com humanos conduzido por Lavoisier, e levou a grandes avanços na compreensão da nutrição, termogênese, GE do exercício e patogênese de doenças metabólicas (KENNY et al., 2017). Atualmente a calorimetria indireta é padrão de referência para estudos sobre a TMB e continua sendo empregada para diversas fórmulas de predição do metabolismo, especialmente desde o início do século XX (ALIASGHARZADEH et al., 2015).

O termo calorimetria indireta é utilizado pois esta técnica não mensura diretamente o calor produzido pelo organismo como ocorre na calorimetria direta. Ela é baseada na premissa de que as reações químicas que liberam energia no

organismo dependem do uso de oxigênio e resultam na produção de dióxido de carbono (ARCHIZA et al., 2017; KENNY et al., 2017). Desta forma, o princípio da calorimetria indireta consiste na análise do ar inspirado e expirado para quantificação da quantidade de oxigênio e dióxido de carbono e sua relação com a ventilação para determinar o consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017). Os modelos atuais utilizam um processo de absorptiometria infravermelha para absorver o dióxido de carbono e o oxigênio é mensurado de diversas maneiras a partir da sua capacidade de produzir correntes elétricas, através das chamadas células galvânicas (FRANKENFIELD, 2010).

Para que o cálculo do GE possa ser realizado na calorimetria indireta, é necessário que se determine o equivalente energético do consumo de oxigênio, através do denominado quociente respiratório (QR), calculado a partir da relação entre a produção de dióxido de carbono e consumo de oxigênio (HAUGHEN et al., 2007). O QR é um indicador da quantidade de cada substrato energético utilizado que demonstra que, para o consumo de carboidratos, a produção de dióxido de carbono é igual ao consumo de oxigênio, sendo seu valor igual a 1,00. O metabolismo de gorduras promove menor produção de dióxido de carbono, por isso o seu valor é cerca de 0,70 (GUPTA et al., 2017).

De acordo com Péronnet e Massicote (1991), o QR é o passo chave na determinação do GE pela calorimetria indireta, pois ele fornece a contribuição relativa de carboidratos e gorduras para a produção de energia e, desta forma, o equivalente energético do oxigênio, ou seja, a quantidade de KCal fornecida pelo consumo de cada litro de oxigênio (KCal/l) que pode variar entre 4,851 e 5,189 KCal/l. De acordo com o cálculo proposto por Weir (1949), o cálculo dos substratos energéticos envolve a quantificação do nitrogênio excretado na urina como marcador do metabolismo proteico. Entretanto, como este componente corresponde a apenas cerca de 4% do metabolismo, o uso do QR não proteico, com análise da contribuição de carboidratos e lipídeos resulta em um erro de apenas 1 a 2% na mensuração.

Apesar deste fundamental aspecto no cálculo do GE, alguns estudos com treinamento resistido empregam apenas o consumo de oxigênio e utilizam a conversão deste consumo em um gasto de 5,05KCal/l durante a execução das séries, por pressupor um QR de 1,00, quando há apenas metabolização de

carboidratos e GE de 4,7 KCal/l na recuperação entre séries e após a sessão de treinamento, por pressupor um QR de 0,70, quando haveria apenas a metabolização de gorduras (SCOTT, 2006).

Os equipamentos utilizados para calorimetria indireta podem ser classificados como de circuito fechado e circuito aberto. Os aparatos de circuito fechado consistem de câmaras hermeticamente isoladas que permitem a inferência do consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono através das mudanças no volume de ar contido na câmara. Esta técnica possui grande aplicação para pacientes submetidos a ventilação mecânica (ARCHIZA et al., 2017).

Os aparatos de circuito aberto variam entre câmaras e equipamentos portáteis. Estes aparatos possuem um fluxo contínuo de ar ambiente para que uma amostra possa ser captada e analisada em suas concentrações de oxigênio e dióxido de carbono. A coleta de ar pode ser feita em média de curtos períodos ou até mesmo em mensuração de ciclo a ciclo respiratório (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017).

As câmaras respiratórias consistem em ambientes amplos com grande capacidade para que um indivíduo possa permanecer durante 24 horas ou mais e são os equipamentos que mais se aproximam dos calorímetros, apesar de terem a desvantagem de necessitarem de medidas extremamente precisas de oxigênio e dióxido de carbono e demorarem alguns minutos para possibilitar a análise, pois o ar expirado é diluído em sua grande capacidade, que pode atingir até 30 mil litros (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017). Entretanto, estes aparatos são os mais precisos na determinação do GE durante o sono, da TMB e no uso de substratos energéticos e, apesar de não poderem fornecer o GEAF, eles fornecem o GE da atividade física espontânea e da movimentação corporal, que estão associados ao GE total diário (DeLANY, 2012).

Outra opção é o sistema de capacete, que possui capacidade média de cerca de 30 litros e é utilizado para o cálculo da taxa de repouso, especialmente em pacientes em estado crítico. Este aparato permite o fluxo de ar ambiente e a análise do ar para as concentrações de oxigênio e dióxido de carbono (SCHOFFELEN E PLASQUI, 2017).

Para a realização da calorimetria indireta em exercício, a opção mais prática e viável são as máscaras faciais ou bocais acompanhados de um clip nasal. Esta opção também costuma ser utilizada na medida da TMB. Com estes aparatos, é

possível que se determine o GE em diversas atividades, mas os resultados mais fidedignos são alcançados quando se realiza a média do consumo por períodos mais longos (MACFARLANE, 2017), pois valores picos e vales podem ser encontrados quando um ciclo respiratório não é realizado de maneira completa durante um período de análise (SCHOFELLEN E PLASQUI, 2017).

Outro avanço tecnológico que permitiu o uso de analisadores portáteis para a análise de diversas atividades foi o uso do pneumotacógrafo de fluxo bidirecional. Este aparato permite que o fluxo ventilatório seja convertido em corrente para a identificação da ventilação (FRANKENFIELD, 2010). Desta forma, os aparatos quantificam a ventilação e, a partir da relação entre as frações inspiradas e expiradas de oxigênio e dióxido de carbono, calculam o consumo e a produção destes gases, respectivamente.

Leonard (2010) demonstra que existem atualmente três tipos de analisadores: os paramagnéticos, os que possuem células combustíveis e os feitos com óxido de zircônio, sendo o primeiro tipo mais caro. Nos analisadores paramagnéticos, as moléculas de oxigênio são alinhadas por um campo magnético dentro de uma câmara de mistura e a concentração do gás é determinada pelas mudanças no campo magnético. Nos analisadores com células combustíveis, também chamados de eletromagnéticos ou células galvânicas, as moléculas de oxigênio passam por uma membrana sensível e depois por uma fina camada de eletrólito. Uma reação química de redução do oxigênio ocorre e os elétrons promovem uma corrente elétrica proporcional à sua concentração. Por fim, nos analisadores de óxido de zircônio, a amostra de ar expirado circunda a célula de óxido de zircônio, enquanto que o seu interior fica preenchido por ar ambiente. Quando ele é aquecido à temperatura de 650° C ou acima, a cerâmica do óxido de zircônio se torna porosa e permite a passagem de íons de oxigênio, que promove uma voltagem e permite a identificação da concentração do gás na amostra expirada de ar. Este tipo de analisador tem resposta muito rápida e é o mais adequado para análises a cada ciclo respiratório, entretanto, possui desvantagem de ter tamanho grande e ser instável.

A análise da concentração de dióxido de carbono é feita por sensores infravermelhos que detectam um feixe de luz através de uma amostra de referência e a compara com a amostra de ar expirado. A diferença na absorção do feixe de luz representa a concentração de dióxido de carbono.

Este conjunto de análises de oxigênio e dióxido de carbono permite conhecer a concentração destes gases no ar expirado para a sua comparação com a amostra de ar ambiente. Em seguida, essas frações são multiplicadas pela ventilação que é detectada pelo pneumotacógrafo para que o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono sejam quantificadas (LEONARD, 2010).

Desta forma, a calorimetria indireta é uma opção de grande viabilidade para a determinação do GE do exercício e de diversas atividades, desde que se tenha o cuidado de mensurar períodos mais longos de tempo e de que se utilize corretamente o QR para que o equivalente energético do consumo de oxigênio seja precisamente empregado.

1.2.3 Métodos não calorimétricos

Os métodos não calorimétricos são aqueles que não utilizam diretamente a mensuração de calor ou a sua relação com o consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono. Estes métodos incluem a água duplamente marcada, o uso de monitores e questionários.

1.2.3.1 Água duplamente marcada

A técnica da água duplamente marcada foi desenvolvida na década de 1940 e amplamente utilizada com animais e passou a ser utilizada com seres humanos a partir da década de 1980 (REIS et al., 2000). A principal razão para o retardo no uso com seres humanos estava no desenvolvimento inicial do método com isótopos radioativos, mas que foram substituídos por métodos não radioativos e seguros para aplicação (SHEPHARD E AOYAGI, 2012).

O desenvolvimento desta técnica e sua posterior aplicação com seres humanos deu fim a uma lacuna do estudo da demanda energética pois os métodos de calorimetria direta e indireta, apesar de sua precisão, ainda não traziam facilidades em relação à quantificação do gasto energético em atividades de vida diária, especialmente em períodos prolongados (DeLANY, 2012).

O princípio do método se baseia na quantificação de dióxido de carbono, para a qual ele é comprovadamente preciso e na premissa de que os átomos de oxigênio presentes na água estão em equilíbrio com o dióxido de carbono expirado (SHEPHARD E AOYAGI, 2012). O indivíduo recebe uma amostra de água com deutério e oxigênio ($^2\text{H}_2^{18}\text{O}$) e os seus componentes passam por excreção

diferencial: o ^{18}O é eliminado como dióxido de carbono e água, ao passo que o deutério é eliminado apenas como água. Desta forma, com análises de saliva, sangue e urina, é possível determinar a quantidade de dióxido de carbono produzida pelo organismo em um determinado período (DeLANY, 2012), que varia, em média de 4 a 20 dias (AINSLE et al., 2003).

A quantidade de dióxido de carbono é relacionada ao gasto energético do período de duas maneiras: pela suposição de um valor de QR de 0,86 ou pela relação da quantidade e distribuição de macronutrientes ingeridos e das modificações dos estoques energéticos no período. Para a determinação do GEAF do período, do GE total dado pelo método, são retirados o GE de repouso e do ETA no período (DeLANY, 2012).

Este método permitiu diversos avanços no conhecimento do GEAF por ser um método de campo, que não exige controle por parte do voluntário e o permite seguir a vida de maneira completamente normal (DeLANY, 2012; SHEPHARD E AOYAGI, 2012). Entretanto, através desse método não é possível quantificar GE em curto prazo de tempo ou discriminar o efeito de componentes do exercício como a intensidade e o volume, visto que o resultado é o GET em um período longo de mensuração (REIS et al., 2000; SHEPHARD E AOYAGI, 2012). Desta forma, ele tem sua grande aplicabilidade no estudo de atividades físicas diárias e não no conhecimento do GE do exercício. O método ainda apresenta como desvantagens o custo operacional e as dificuldades técnicas associadas à mensuração do enriquecimento de isótopos (DeLANY, 2012).

O erro associado à medida do GE pela água duplamente marcada é cerca de 4 a 7%, mas ele pode ser reduzido se forem realizadas medidas mais frequentes ao invés de apenas no início e no término do período de estudo (LEVINE, 2005).

1.2.3.2 Monitoramento da Frequência Cardíaca

O método da frequência cardíaca (FC) tem avançado por conta de seu uso fácil e acessível, com monitores portáteis que não geram restrições ou obstruções ao movimento (REIS et al., 2000; LEVINE, 2005).

A premissa para o uso da FC na quantificação do gasto energético está no fato de que maior quantidade de ATP é necessária com o aumento do trabalho muscular. Se a biossíntese do ATP for realizada pelo metabolismo aeróbio, o suprimento de oxigênio aos músculos deve ser elevado, logo, a FC deve ser elevada

para que o débito cardíaco (DC) seja suficiente para ofertar o oxigênio necessário ao trabalho muscular. Desta forma, se é possível relacionar a FC à taxa metabólica, seria possível relacioná-la ao GE, desde que o indivíduo esteja em estado estável (GREEN, 2011).

A relação entre o consumo de oxigênio e a FC foi inicialmente determinada na equação de Fick, que descreve que o consumo de oxigênio (VO_2) pode ser determinado pelo produto do DC pela diferença arteriovenosa de oxigênio (WALLEY, 2011). Sendo o DC o produto da FC pelo volume sistólico (VS), existe uma relação direta entre a FC e o VO_2 .

Astrand e Rhyming (1954) publicaram um método submáximo para a determinação do $VO_{2máx}$ pela FC em ciclo ergômetro. Os autores partiram da premissa que, havendo uma relação linear da FC e do VO_2 com a intensidade de esforço, deveria haver uma relação linear entre a FC e o VO_2 . Desta forma, determinando-se a FC em um esforço de VO_2 conhecido, seria possível estimar o $VO_{2máx}$. Entretanto, era necessário que se tomasse o cuidado de impor intensidades de esforço acima de 50% do $VO_{2máx}$, pois nessa intensidade já se atinge o VS máximo ($VS_{máx}$) e o aumento do DC e conseqüentemente do VO_2 é causado pelo aumento na FC (SHEPHARD E AOYAGI, 2012).

Apesar desta premissa fisiologicamente bem fundamentada, o uso da FC na determinação do GE apresenta diversas limitações, pois a inclinação da curva que a relaciona com o VO_2 varia em função de idade, gênero, nível de treinamento, postura, segmento corporal exercitado e fatores externos como estresse, ansiedade e exposição a ambientes quentes e de altitude elevada (SHEPHARD E AOYAGI, 2012), além de variar entre atividades, por isso uma curva individual deve ser feita para cada exercício para que se tenha a determinação do GE (DeLANY, 2012). Mesmo quando equações individuais são utilizadas, o erro deste método ainda pode chegar a 20% (LEVINE, 2005).

Beghin et al. (2000) compararam a medida do GE por FC e por calorimetria indireta de crianças com situações de repouso, 30 minutos após refeições, em atividades em cicloergômetro e durante o sono. Os autores reportaram boa concordância entre os métodos, especialmente na medida do GE durante o sono, em que a estimativa de 90% do GE de repouso resultou em erro menor que 4%. O mesmo grupo (BEGHIN et al., 2002) verificou o uso de ajuste polinomial de terceira

ordem para o cálculo do GE de crianças durante o sono pela FC e reportou forte correlação entre este método e a calorimetria indireta.

Durante o exercício, Erdogan et al. (2010) realizaram a validação do monitor Polar S810i® em indivíduos obesos durante a execução de exercício a 50 e 70% do $VO_{2máx}$ em remoergômetro. Na intensidade de 50% do $VO_{2máx}$, o método da FC superestimou o GE em cerca de 0,5KCal/min.

Yu et al. (2012) realizaram a comparação do GE total diário de homens e mulheres de meia idade com os métodos da FC e da água duplamente marcada. Os resultados apresentaram diferença média de 8,6KCal/dia, mas com grande variação individual e sem tendência à superestimar ou subestimar o GE pelo método da frequência cardíaca.

Este conjunto de estudos demonstra que a determinação do GE de repouso ou durante o sono pode ser aplicável pelo método da FC, especialmente devido à sua praticidade. Entretanto, há necessidade de mais estudos para que se realize o ajuste da relação entre FC e VO_2 para diferentes populações e exercícios e para o GE diário, onde diferentes atividades físicas e potencialmente sessões de exercício são realizadas.

1.2.3.3 Acelerômetros

Acelerômetros são equipamentos portáteis, carregados pelo avaliado, que determinam movimentos corporais para que estes sejam relacionados ao GE por meio de algoritmos. Estes aparatos podem utilizar componentes piezoelétricos, piezoresistivos ou capacitores que convertem a força de aceleração em impulsos elétricos (SHEPHARD E AYOAGI, 2012).

Os tipos mais comuns são os acelerômetros uniaxiais, que detectam as mudanças em apenas um eixo de movimento e os triaxiais, que detectam os movimentos nos três eixos. Estudos relatam que os triaxiais são mais precisos e apresentam melhor correlação com medidas do GE total diário por água duplamente marcada (LEVINE, 2005).

Diversos tipos de acelerômetros estão disponíveis no mercado, uma vez que eles possuem baixo custo e, por apresentarem parâmetros de comparação para idade e gênero, auxiliam na determinação de metas individuais para aumento do GE diário (de GRAAUW et al., 2015). Eles podem ser cintos posicionados na cintura, aparatos carregados nos pés, pulso ou mesmo no lóbulo da orelha (SHEPHARD E

AYOAGI, 2012). Atualmente, até mesmo smartphones podem ser utilizados para coleta de dados e não precisam necessariamente ficar no bolso (ROUSSET et al., 2017).

Entretanto, esses diferentes modelos presentes no mercado promovem grande variação nos estudos, visto que um acelerômetro utilizado na cintura ou nos pés, por exemplo, não é sensível para atividades de membros superiores. Apesar de um estudo realizado por Scott et al. (2017) não ter reportado diferenças entre acelerômetros de pulso e cintura com adolescentes em condições cotidianas habituais, diversos outros estudos envolvendo corrida e treinamento resistido reportaram diferenças causadas pela localização dos acelerômetros (RAWLSON E WALSH, 2010; STEC E RAWSON, 2012; KIM et al., 2014). Essa grande variação ocorre especialmente em estudos com populações heterogêneas e grande tamanho amostral (JERAN et al., 2016). Por essa razão, Levine (2005) defende que os acelerômetros ainda possuem mais utilidade na comparação da quantidade de atividade física espontânea entre populações do que na predição do GE.

De acordo com DeLany et al. (2012), os acelerômetros possuem boa precisão na estimativa do GE na caminhada, mas perdem essa precisão em atividades como caminhada em rampa, natação, remo, ciclismo, subida de escadas e exercícios para membros superiores.

Alguns estudos foram conduzidos no intuito de verificar a validade do uso de acelerômetros para a determinação do GE em treinamento resistido. Ralson e Walsh (2010) compararam o uso de acelerômetros de pulso, cintura e tornozelo com a calorimetria indireta durante treinamento resistido em homens e mulheres. Os voluntários foram submetidos a um protocolo de 2 séries máximas de 10 repetições em 8 exercícios, com 1 minuto de intervalo entre séries e 2 minutos de intervalo entre exercícios. A maior correlação entre o GE por acelerometria e calorimetria indireta foi encontrada para o acelerômetro de cintura. Entretanto, os autores não reportam quais foram os cálculos para determinação do GE pela calorimetria indireta e não consideraram o componente anaeróbio no GE do treinamento resistido. Sendo assim, o GE pela calorimetria indireta pode ter sido subestimado.

Benito et al. (2012) compararam o GE por acelerometria e calorimetria indireta em circuito com 30, 50 e 70% do peso correspondente a 15 repetições máximas (15RM). Os autores utilizaram, na calorimetria indireta, a conversão do VO_2 em 5KCal/l durante o exercício e 4,64KCal/l na recuperação e reportaram que a

acelerometria subestimou o GE. Cabe ressaltar que neste estudo os autores também não reportaram a quantificação do componente anaeróbio do treinamento no GE, portanto o próprio GE pela calorimetria pode ter sido subestimado, o que aumentaria o erro dos acelerômetros.

Reeve et al. (2014) verificou a validade de dois modelos comerciais de acelerômetros durante a realização de 3 séries de 10 repetições a 70% de 1RM em 9 exercícios resistidos. Os autores reportaram erro de 4,3 e 5,1% nos modelos avaliados em relação à calorimetria indireta. Entretanto, o componente anaeróbio não foi analisado e o erro pode ter sido ainda maior.

O único estudo que comparou a acelerometria com a calorimetria indireta somada do componente anaeróbio foi realizado por Stec e Rawson (2012). Eles submeteram indivíduos ao mesmo protocolo utilizado por Rawson e Walsh (2010) e utilizaram acelerômetros de pulso, cintura e tornozelo. Os autores reportaram que a maior correlação com a calorimetria indireta (0,50) foi apresentada com o uso do acelerômetro de cintura, mas não detectaram benefício adicional do acelerômetro triaxial comparado ao uniaxial.

Duas recentes revisões sistemáticas vão ao encontro destes resultados (de GRAAUW et al., 2015; JERAN et al., 2016) e apontam para o fato de que ainda não há estudos que forneçam recomendações baseadas em evidências para melhorar a precisão da estimativa do GE por acelerômetros e que são necessários mais estudos onde os indivíduos possam seguir a sua rotina normal para a determinação do GE total diário com estes equipamentos.

1.2.3.4 Smartphones

Recentes tecnologias têm sido desenvolvidas para que o GE possa ser estimado através do uso dos acelerômetros presentes em smartphones. De acordo com Mallone et al. (2012), o uso dos smartphones é vantajoso devido a diversos fatores: a adoção por grande parte da população, o apego que os indivíduos têm com seus celulares, o fato de que as pessoas o levam a praticamente todos os lugares em que vão e os aplicativos que permitem a interação do usuário para a entrada de dados.

Devido a essas vantagens, os smartphones têm sido aplicados para uso em estudos biomecânicos e sua aplicação na área médica vem crescendo nos últimos anos (CERRITO et al., 2015), mas a sua aplicação na determinação do GE diário

ainda é incipiente. Guidoux et al. (2014) compararam o GET diário de indivíduos através dos smartphones e de acelerômetros comercialmente disponíveis. Os autores reportaram erro de 17 a 23% entre os smartphones e os acelerômetros, mas cabe ressaltar que os acelerômetros ainda não possuem boa validação para a determinação do gasto energético, por isso estudos devem ser conduzidos comparando o GE total diário ao método da água duplamente marcada.

De acordo com Concepcion et al. (2014), o problema dos smartphones está na quantidade de atividades reconhecidas, e os acelerômetros ainda limitam essa quantidade. Ademais, o celular deve ser posicionado na altura do quadril, o que não é natural e pode exigir cintos para que sejam utilizados, mas outras posições já foram testadas sem bons resultados.

Este conjunto de estudos demonstram que os smartphones, apesar de suas aplicações na medicina e biomecânica, ainda não são confiáveis para a determinação do GE, especialmente do exercício.

1.2.3.5 Uso de GPS

O uso dos equipamentos de GPS (*global positioning system*) também tem sido empregado para a estimativa do GE do exercício e do GE total diário. Coutts et al. (2015) utilizaram medida de GPS de 39 jogadores australianos de futebol, durante 19 partidas ao longo de duas temporadas. De acordo com os autores, o GPS teve alta correlação com o GE das partidas, mas este foi estimado através de equações preditivas pelo deslocamento dos atletas em campo. Este método deve ser empregado com cautela, pois as estimativas são limitadas a diferenças na massa corporal e eficiência mecânica dos atletas, mudanças rápidas de direção e aceleração durante as ações do jogo e as condições do campo e particularidade da partida, como o adversário e o resultado (SHEPHARD E AYOAGI, 2012).

Além das limitações com atletas, um estudo realizado por Pontzer et al. (2015) verificou que o uso de GPS não apresentou boa correlação com a água duplamente marcada para estimativa do GET diário de caçadores da comunidade Hadza. Por isso, Duncan et al. (2009) propõem que o melhor uso dos equipamentos de GPS é combinado a um acelerômetro, pois o GPS determina a velocidade e pode distinguir entre atividades como caminhada, corrida e ciclismo, ao passo que os acelerômetros são capazes de determinar frequência de passadas e quantidade de passos em uma série de exercício.

Neste sentido, Nguyen et al. (2013) realizam a combinação do uso de GPS com dois acelerômetros, usados na cintura e no tornozelo, para a determinação do GE de atividades em ambiente controlado. Os autores reportaram correlação de 0,97 entre a combinação de GPS e acelerômetros com a calorimetria indireta.

Um recente estudo publicado por de Müllenheim et al. (2017) comparou o uso de acelerômetros, GPS e frequencímetros com a calorimetria indireta em caminhada em diferentes velocidades, em subida e em descida. Os autores reportaram que a maior correlação foi encontrada com acelerômetro e GPS, indicando que novas tecnologias, especialmente novos algoritmos para estimativa do GE podem ser úteis no futuro próximo. Entretanto, os equipamentos de GPS apresentam maior utilidade em relação à determinação de velocidade, por isso, sua grande aplicabilidade é limitada, no momento, a exercícios dinâmicos realizados em ambientes abertos.

1.2.3.6 Questionários e diários

Questionários e diários consistem em ferramentas de baixo custo e fácil aplicação para estudos com grandes populações que permitem verificar não apenas níveis gerais de atividade física como intensidade, frequência e duração dos exercícios e atividades praticados (SHEPHARD E AYOAGI, 2012). Para isso, é necessário que se relate todos os tipos de atividades e exercícios realizados com a maior precisão possível (de MELO et al., 2008).

Os questionários são feitos com base na percepção das atividades, que são separados por categorias (de MELO et al., 2008). Entretanto, eles acabam possuindo limitações como falta de atividades a serem marcadas, mesmo em questionários mais completos com mais de 20 páginas, falhas relacionadas à memória, especialmente com idosos e a tendência dos avaliados em fornecerem respostas que considerem socialmente aceitáveis (SHEPHARD E AYOAGI, 2012).

Os diários devem ser preenchidos diretamente pelos indivíduos ou por um observador em intervalos regulares ou então a cada vez que o indivíduo muda o seu padrão de atividade. Isso os torna muito dispendiosos em relação ao tempo para preenchimento, mas eles possuem boa precisão, especialmente se forem combinados a outras medidas fisiológicas como a frequência cardíaca (SHEPHARD E AYOAGI, 2012).

Conway et al (2002) realizaram a comparação do uso de diários ou recordatório dos últimos sete dias com o GE total diário determinado pelo método da

água duplamente marcada. Os autores reportaram que os diários tiveram um erro de 7,9%, enquanto que o recordatório de sete dias apresentou erro superior a 30%, superestimando o GE total diário. Desta forma, devido à maior periodicidade dos registros, os diários parecem ser mais confiáveis.

O mesmo grupo (CONWAY et al., 2002b) verificou a eficácia da combinação de dois questionários para a determinação do GET diário, comparados à água duplamente marcada. A soma dos dois questionários foi razoavelmente eficaz, entretanto, para indivíduos que realizavam muitas tarefas intermitentes durante o dia, a variação aumentou significativamente. Este estudo aponta para a dificuldade em rastrear todas as atividades físicas em momentos do dia em que comportamentos mais e menos ativos se alternam com maior frequência.

Aguilar-Farias et al. (2014) realizaram uma comparação de registros de uma semana com registros das últimas 24 horas, ambos comparados ao uso de acelerômetros. O objetivo do estudo foi reportar apenas quanto tempo do dia os indivíduos permaneciam sentados. O registro das últimas 24 horas apresentou um erro de 1,4 horas por dia, para mais ou para menos, ao passo que o registro de uma semana apresentou erro superior a 3 horas por dia.

Este conjunto de estudos permite duas conclusões: os diários são mais eficazes que os questionários, apesar de serem mais onerosos no quesito tempo e que a aplicação tanto de questionários como diários, caso bem realizada, permite, na melhor das hipóteses, a determinação do GE total diário, mas não de um exercício especificamente.

1.2.4 Conclusão sobre os métodos de determinação do GE

Várias tecnologias portáteis vem sendo desenvolvidas para que a estimativa do GE seja cada vez mais prática e confiável. Entretanto, o uso destas tecnologias como monitores de frequência cardíaca, acelerômetros e equipamentos de GPS ainda apresentam diversas limitações e precisam de muitos avanços, especialmente em seus algoritmos, para que possam ser realmente confiáveis. Por enquanto, sua aplicação parece ser mais para a determinação do GET diário, o que não discrimina o GE do exercício de maneira específica.

A técnica de água duplamente marcada tem validação e pode até ser utilizada para validar outros métodos, devido à sua precisão. Apesar disso, é uma técnica que

demanda análise de períodos prolongados, o que determina apenas o GET diário e não é capaz de discriminar o GE do exercício que foi realizado nesse período.

Para que o GE do exercício seja precisamente determinado, apenas a calorimetria direta e indireta apresentam bons resultados. Entretanto, a calorimetria direta é demasiadamente cara e limita as possibilidades de determinação do GE. Assim, para que o GE do treinamento resistido seja determinado, a calorimetria indireta é a melhor opção em termos de precisão e praticidade. Dadas as possibilidades de quantificação do Ge no exercício, a próxima sessão descreve a importância de seu estudo.

1.3 Importância do estudo do gasto energético no exercício

1.3.1 Adequação nutricional

O gasto energético total (GET) diário compreende a quantidade de energia necessária para a manutenção da vida e é composto pela taxa metabólica basal (TMB), pelo efeito térmico dos alimentos (ETA) e pelo gasto energético da atividade física (GEAF) (WESTERTERP, 2004; de MELO et al., 2008).

A taxa metabólica basal corresponde à quantidade de energia gasta por um indivíduo acordado, em estado pós-absortivo termo neutro e não tendo se exercitado por aproximadamente 12h (HERRMANN et al., 2016). Diversos fatores podem afetar a TMB como altura, massa corporal, massa magra, idade, gênero e atividade do sistema nervoso simpático (HILL, 2006; HERRMANN et al., 2016). A TMB é o principal componente do GET, correspondendo a cerca de 60 a 75% da energia gasta em um dia (WESTERTERP, 2004; de MELO et al., 2008).

O ETA pode ser definido como o aumento no gasto energético (GE) acima do basal dividido pelo conteúdo calórico do alimento ingerido, comumente expresso em valor percentual (WESTERTERP, 2004). Ele corresponde, portanto, à quantidade necessária de energia para se digerir, absorver e armazenar nutrientes, sendo responsável por cerca de 5 a 15% do GET (de MELO et al., 2008; HEYDENREICH et al., 2017). Os principais determinantes do ETA são o conteúdo calórico da refeição e sua quantidade de proteínas (WESTERTERP, 2004).

O GEAF é o mais variável dos componentes, pois depende de toda a quantidade de atividade física e exercício que um indivíduo realiza, correspondendo, em média a cerca de 15 a 30% do GET (de MELO et al., 2008). É importante a

distinção entre a atividade física e o exercício físico, pois a sua combinação compõe o GEAF. Atividade física é definida como qualquer movimento corporal produzido pelos músculos esqueléticos que aumenta o gasto energético, enquanto o exercício físico é um componente planejado, estruturado e repetitivo da atividade física com objetivo intermediário ou final de aumento ou manutenção da aptidão física (CASPERSEN et al., 1985).

No caso de atletas, a participação do GEAF no GET pode ser ainda maior. Por exemplo, durante a competição ciclística *Tour de France*, foram reportados gastos que correspondiam a mais de cinco vezes a TMB (WESTERTERP, 1986). Maratonistas de elite chegam a treinar entre 500 a 1000 horas por ano, porém com variações no seu ciclo de planejamento e em períodos de recuperação e polimento, o seu GEAF é drasticamente reduzido e chega a ser comparável a indivíduos de comportamento sedentário ou praticantes recreacionais de exercício (HEYDENREICH et al., 2017).

Devido a estas grandes variações no GEAF que afetam diretamente o GET, atletas devem ser submetidos a um rigoroso controle para a sua adequação nutricional e diversos posicionamentos estão disponíveis na literatura (COMMITTEE ON SPORTS MEDICINE AND FITNESS, 2005; TUROCY et al., 2011; THOMAS et al., 2016). De acordo com Turocy et al. (2011), a adequação nutricional de atletas possui os objetivos de: evitar alternância de peso, seja para desportos com categorias separadas por peso ou para todos os outros em que a composição corporal tenha influência no desempenho; manter a quantidade de nutrientes necessárias para uma nutrição adequada do atleta; ter conhecimento da predominância de nutrientes utilizados no exercício para correta reposição e; cálculo da necessidade de ingestão energética para que não haja flutuações indesejadas de massa corporal.

Este último fator é de alta complexidade pois, apesar da abundância de métodos diretos e indiretos de mensuração ou estimativa da TMB e do conhecimento sobre o ETA e de diferentes nutrientes e composições alimentares, o GEAF ainda permanece, de alguma maneira, elusivo. Por exemplo, a equação de Harris e Benedict fornece dados para o cálculo da TMB e mais quatro opções das necessidades de atividade, dentre comportamento sedentário, atividade leve, atividade moderada e atividade intensa (Turocy et al., 2011). Estes fatores podem levar a uma subjetividade de interpretação no momento da elaboração de um plano

nutricional. Além disso, se um atleta ficar afastado dos treinamentos, por exemplo, por uma lesão, o seu GET será alterado devido à redução no GEAT e o seu plano alimentar deve ser reajustado para que não ocorra aumento indesejado do percentual de gordura corporal.

Apesar das diferentes contribuições de macronutrientes para o ETA (WESTERTERP, 2004), de eventuais variações na TMB em resposta a intervenções hiper ou hipocalóricas e da relação recíproca entre ingestão e gasto energético (HOPKINS e BLUNDELL, 2016), a realização de diversos estudos levou ao consenso de que a massa corporal é resultado do balanço energético, ou seja, a relação entre quantidade de energia ingerida e metabolizada, e não nas fontes alimentares (CARRERO et al., 2016).

Desta forma, este conhecimento não deve se limitar apenas aos treinamentos específicos do atleta, mas sim abranger todo o seu espectro de atividades envolvidas nos treinamentos técnicos, táticos e preparação física.

1.3.2 Prevenção do aumento da massa corporal

Outro aspecto importante da adequação nutricional está no controle de peso e prevenção da obesidade na população geral. De acordo com Guidoux et al. (2014), o conhecimento do GE do exercício e de diversas atividades físicas pode auxiliar indivíduos na manutenção de seu balanço energético e, por isso, tornou-se questão de saúde pública. Estudos populacionais demonstram que existe uma relação entre o comportamento sedentário e a prevalência de obesidade. Apesar do organismo possuir diversos mecanismos para o controle da massa corporal, parece haver um limite inferior para a ingestão calórica. Não é possível diminuir a ingestão calórica para menos que 1,4 vezes a TMB e, no caso de indivíduos cujo GET diário fica abaixo deste valor, ocorre aumento gradativo da massa corporal (BLUNDELL et al., 2003).

Diversos estudos têm demonstrado que a população possui uma tendência de aumento da massa corporal quando permanece sedentária. French et al. (1994) demonstraram, no *Healthy Worker Project*, que em período de 2 anos, homens e mulheres sedentários apresentavam, em período de apenas 2 anos, aumento de 0,4kg e 0,6kg na massa corporal, respectivamente. Neste mesmo período, cada sessão semanal de caminhada predizia redução de 0,8kg para mulheres e de 0,4kg para homens.

Sherwood et al. (2000) demonstraram no estudo *Pound of Prevention*, com homens e mulheres entre 20 e 45 anos que, em 3 anos, apesar da prática regular de exercício promover pouca redução da massa corporal, o sedentarismo promove seu aumento. O mesmo foi reportado por Slentz et al. (2004) no estudo STRRIDE, em período de aproximadamente 40 meses.

Ball et al. (2002) acompanharam uma amostra de mulheres australianas com idade entre 18 e 23 anos durante um período de 4 anos e reportaram que 41% da amostra apresentou aumento de massa corporal superior a 3%. Neste estudo, as mulheres que passavam mais que 33 horas sentadas por semana tinham entre 17 e 20% maior probabilidade de aumento de massa corporal. De acordo com Jakicik (2009), este comportamento sedentário tem relação com aumento de peso por dois fatores: a menor taxa metabólica de repouso e a redução nas oportunidades para prática de exercícios e atividades físicas.

O aumento de peso decorrente do balanço energético positivo durante um período prolongado aumenta o estoque de gordura corporal. A hipertrofia das células adiposas, que passam de cerca de 0,4 a 0,6 μ g para cerca de 1,0 a 1,2 μ g por célula, resulta em redução da concentração de oxigênio em algumas regiões do tecido adiposo (TRAYHURN, 2013). Esta hipóxia induzida pela obesidade promove alteração na expressão gênica e liberação de adipocinas, levando o indivíduo a um estado de inflamação crônica de baixo grau associado a diversas doenças como diabetes, hipertensão arterial, dislipidemias, entre outros (VIRTANEN et al., 2009).

Uma maneira de quantificar a quantidade semanal de exercício é pela unidade de METs por horas (MET-h/sem). Este cálculo é realizado pela multiplicação do GE de uma atividade em METs pela quantidade de horas em que se realiza da atividade. Por exemplo, se um indivíduo realiza duas horas semanais de caminhada a 5 METs, seu GE semanal de exercício é de 10MET-h/sem.

Hankinson et al. (2010) separaram homens e mulheres em grupos de três níveis de exercício na semana: baixo, com menos de 7,5 MET-h/sem; moderado, entre 7,5 e 21 MET-h e; alto, acima de 21MET-h por semana e acompanharam a massa corporal durante período de 20 anos. Os autores reportaram que homens e mulheres no grupo de alto nível de exercício preveniram aumento de 2,6 e 6,1kg, respectivamente. Usando a mesma classificação, Shiroma et al. (2012) acompanharam homens idosos durante período de 5 anos e demonstraram que os

homens nos níveis baixo e moderado de prática de exercício tinham maior tendência ao aumento da massa corporal.

Lee et al. (2010) acompanharam mulheres de meia idade durante um período de 15 anos e reportaram que apenas as mulheres que eram eutróficas no início do estudo e realizavam acima de 21,5MET-h por semana conseguiram manter a massa corporal. Para as mulheres que eram sobrepesadas no início do estudo, mesmo esta dose de exercício não foi suficiente para prevenir o aumento da massa corporal, demonstrando que a dose para indivíduos sobrepesados e obesos pode ser maior, mas ainda permanece não identificada.

Assim, para a população em geral, o conhecimento do GE de diferentes modalidades de exercício pode auxiliar na manutenção do balanço energético e prevenção da obesidade.

1.3.3 Relação entre gasto energético e mortalidade

Conforme descrito anteriormente, o fator mais variável dentro do GET é o GEAT (de MELO et al., 2008). Esta variação pode ocorrer tanto pela quantidade de exercício físico que um indivíduo realiza, inclusive com as flutuações pelas quais atletas são submetidos em seu programa de treinamento como também pelo escopo de atividades físicas que podem ser realizadas diariamente.

Farinatti (2003) apresentou um compêndio com a descrição de diversas atividades e seu gasto energético em equivalentes metabólicos da tarefa (METs), expressos em relação à taxa metabólica de repouso (TMR). Desta forma, 1 MET corresponde ao consumo de oxigênio de repouso de $3,5 \text{ mL}(\text{kg}.\text{min})^{-1}$ e uma atividade de 2METs corresponde ao dobro do repouso, ou $7,0 \text{ mL}(\text{kg}.\text{min})^{-1}$, assim sucessivamente. Neste compêndio, além das atividades de condicionamento, as atividades físicas são divididas em: reparos domésticos, inatividade, atividades domésticas, gramado e jardim, atividades ocupacionais, cuidados pessoais e transporte. A partir da análise do tempo em que um indivíduo passa do seu dia realizando cada uma destas atividades, é possível que se estime o seu GEAF.

Há mais de 50 anos, Morris et al. (1953) hipotetizaram que homens de meia idade com atividades laborais mais ativas tinham menor incidência de doença arterial coronariana comparados a seus pares em funções inativas e que, quando os mais ativos desenvolviam a doença, sua severidade era menor. Após levantamento de cerca de 1200 mortes relacionadas a eventos cardiovasculares, os autores foram

os primeiros a determinar a relação entre a prática de atividade física e mortalidade. A partir de então, uma abundância de estudos foram conduzidos para reforçar esta associação (Kokkinos, 2012).

Leitzman et al. (2007) investigaram a relação entre a prática de exercício físico e mortalidade em um grupo de 252.925 homens e mulheres com idades entre 50 e 71 anos, participantes do estudo da *National Institutes of Health – American Association of Retired Persons* (NIH-AARP). Os autores relataram que a realização da quantidade recomendada de exercício de 30 minutos diários de exercício de baixa intensidade ou 60 minutos semanais de exercício vigoroso (acima de 6 METs) divididos em 3 sessões de 20 minutos, está associada a redução de 27 e 32% no risco de mortalidade, respectivamente.

Um estudo realizado por Paffenbarger et al. (1993) com 10.269 homens entre os anos de 1962 e 1967 demonstrou que a realização de exercícios acima de 4,5 METs estava associada a redução de 23% na mortalidade.

Eisenmann et al. (2003) avaliaram a relação entre a atividade física reportada em período de 3 dias com as concentrações de colesterol de 415 meninos e 356 meninas, com idade entre 10 e 19 anos, residentes na região de Quebec, no Canadá. Os resultados sugerem que aumento do GEAF está associado a maiores níveis de HDL-colesterol em adolescentes dos dois gêneros.

Samitz et al. (2011) realizaram uma meta-análise com cerca de 80 estudos envolvendo mais de 1 milhão de participantes. Os resultados demonstraram que tanto a realização de atividades físicas quanto de exercícios intensos estavam associados a redução de mortalidade. Entretanto, o efeito do exercício físico foi maior.

Estes estudos demonstram claramente que a prática de exercício físico e o aumento na quantidade de atividade física estão associados à redução na mortalidade. A partir disto, é interessante determinar se a quantidade total de calorias gastas durante a atividade física e o exercício físico podem influenciar esta redução na mortalidade.

Kokkinos (2012) descreve que há um limiar de gasto energético para a redução de mortalidade. Uma quantidade mínima de cerca de 1.000KCal por semana é necessária para redução de cerca de 20 a 30% da mortalidade. Lan et al. (2006) reportaram que GE a partir de 1000KCal por semana estava associado a redução de 35% na mortalidade de uma população de 2.113 homens e mulheres taiwaneses acima de 65 anos.

No estudo de Samitz et al. (2011), este gasto semanal de 1.000KCal foi associado a redução de 7% da mortalidade em homens e 15% em mulheres. De acordo com os autores, para que ocorra redução de 10% na mortalidade, são necessárias 650KCal semanais para mulheres e 1.500 KCal semanais para homens.

Manini et al. (2006) determinaram o GEAF de 302 idosos durante duas semanas utilizando a técnica da água duplamente marcada. Os resultados do estudo demonstraram que um aumento de 287 KCal/dia está associado a redução de 32% na mortalidade.

O conjunto destes estudos demonstra que não existe apenas uma relação entre atividade física e exercício físico com a redução da mortalidade, mas que há também uma clara relação entre o GEAF e a redução da mortalidade. Parece haver um consenso na literatura de que 1.000KCal por semana são necessários para a redução da mortalidade. Entretanto, o estudo de Kokkinos (2012) também aponta para o risco do excesso de gasto energético, pois valores semanais acima de 3.500 KCal estão associados a leve aumento da mortalidade quando comparados a valores entre 1.000 e 2.000 KCal.

De acordo com Phillips e Winnet (2010), o TR é efetivo no controle de doenças cardiovasculares, diabetes e outras doenças, além de ser a melhor estratégia para o aumento ou manutenção da massa muscular, sendo fundamental na prevenção e tratamento da sarcopenia. Ademais, o estudo de Paffenbager et al. (1993) demonstrou que a manutenção da massa muscular durante o processo de envelhecimento está associada à redução da mortalidade. Portanto, o TR não serve apenas como forma de aumentar o GEAF.

A redução da mortalidade associada à prática de TR também tem sido reportada na literatura. Para idosos sem complicações de saúde, Krashnewsky et al. (2016) reportaram redução de 46% na mortalidade de indivíduos que realizam TR comparados a seus pares sedentários. Em populações fragilizadas, Singh et al. (2012) reportaram redução de 81% na mortalidade de idosos após fratura de quadril com a realização de um programa de 12 meses de TR. Hardee et al. (2014) reportaram redução de 33% na mortalidade de 2.863 pacientes oncológicos com idades entre 18 e 81 anos, e a taxa de redução foi maior para os pacientes idosos.

Portanto, o TR pode e deve ser incluído em um programa de melhora ou manutenção da aptidão física relacionada à saúde e redução da mortalidade. Desta forma, o conhecimento do GE do TR é de suma importância, pois com este

conhecimento é possível que se estabeleça metas de exercício baseadas não apenas na melhora da aptidão física, mas também para atingir o limiar semanal de GE associado à redução da mortalidade.

1.3.4 Inclusão do exercício no emagrecimento

A maior premissa da inclusão do exercício em intervenções de redução da massa corporal é devida ao efeito supramencionado do exercício no aumento do GEAF e conseqüentemente do GET. Desta forma, quando se considera que o principal determinante da redução da massa corporal é o balanço energético negativo (WESTERTERP et al., 2004), o GE induzido pelo exercício torna-se uma ferramenta para a redução da massa corporal.

Slentz et al. (2004) demonstraram haver uma relação dose-resposta da quantidade de exercício aeróbio com a redução na massa corporal e gordura corporal. Os autores realizaram uma intervenção de 8 meses em que homens e mulheres foram separados em grupo de alto volume e alta intensidade, grupo de baixo volume e alta intensidade e grupo de baixo volume e baixa intensidade, sendo o GE dos grupos de baixo volume equiparados. Todos os grupos apresentaram redução na massa corporal e massa gorda, entretanto o maior efeito foi encontrado no grupo de alto volume e não houve diferença entre os grupos de baixo volume, apesar da diferença na intensidade do exercício.

Donnelly et al. (2013) submeteram uma amostra de 141 homens e mulheres sobrepesados e obesos a 10 meses de treinamento aeróbio com 5 sessões semanais de gasto de 400 ou 600KCal por sessão, com objetivo de verificar se o exercício físico sem intervenção dietética seria capaz de promover redução de massa corporal e massa gorda. Os autores reportaram que os dois grupos tiveram redução de massa corporal e massa gorda, de maneira proporcional ao gasto energético das sessões e sem diferença entre homens e mulheres.

De acordo com Caudwell et al. (2014), as diferenças que podem ser encontradas na redução de massa gorda entre homens e mulheres estão associadas à diferença no GE das sessões, visto que em exercícios como caminhada e corrida, em que um indivíduo deve sustentar seu corpo, ao contrário, por exemplo, de um ciclo ergômetro, a maior massa corporal dos homens promove maior GE. Entretanto, quando o GE das sessões de treino é igualado, a perda de massa gorda é similar entre os gêneros. Assim, o conjunto destes estudos leva à

seguinte pergunta: “é possível prever a perda de peso por meio do GE do exercício, independente da modalidade?”.

Em períodos de balanço energético negativo, o déficit energético é compensado pelos estoques corporais na forma de gordura, proteínas e glicogênio. Como a energia do organismo é conservada, o conteúdo metabolizado de energia das reservas é proporcional a este déficit, o que produz a perda de peso. Para que se promova a perda de 1kg de gordura, é necessário um déficit energético de aproximadamente 7.695KCal (HALL, 2008).

Dada esta potencial combinação de estoques de gordura, proteínas advindas principalmente da massa muscular e glicogênio, uma grande quantidade de meta-análises foi conduzida (GARROW et al., 1995; CHASTON et al., 2007; WEINHEIMER et al., 2010; STIEGLER E CUNLIFFE, 2006; HEYMSFIELD, 2010) e levaram a um consenso de que a perda de peso com déficit energético induzido por restrição calórica é de cerca de 75% de massa gorda e 25% de massa magra. Entretanto, a proporção de perda de massa gorda e massa magra varia com o tempo, sendo determinada por diversos fatores que incluem a ingestão calórica, composição dietética, gênero, adiposidade inicial, a quantidade e o tipo de atividade física ou exercício físico praticada além do estado metabólico e resposta hormonal individual (HEYMSFIELD et al., 2014).

Thomas et al. (2012) propuseram um modelo matemático a partir do qual o desequilíbrio energético (DE) pode ser calculado utilizando as variações nos estoques energéticos. De acordo com este modelo, 1kg de gordura corresponde a um DE de 9.500KCal e 1kg de massa magra a um DE de 1020 KCal, sendo que déficit desta magnitude promove perda e balanço positivo desta magnitude promove aumento dos estoques. Desta forma, com a variação nos estoques energéticos é possível calcular o DE de um período e verificar se a perda está dentro do determinado inicialmente pelo exercício, restrição calórica ou sua combinação.

A perda de peso, especificamente a redução na massa gorda, pode não ser a prevista durante um determinado período devido a três fatores: a redução na TMB, denominada termogênese adaptativa, redução na quantidade de atividade física realizada no período ou pelo aumento na ingestão calórica. Estes fatores serão explicados a seguir.

1.3.4.1 Termogênese adaptativa

Termogênese adaptativa (TA) é um termo que se refere a mudanças na TMB independentes de mudanças na massa corporal ou seus componentes metabolicamente ativos, ou seja, a TA ocorre devido a reduções nas atividades específicas de células corporais (MÜLLER E BOSY-WESTPHAL, 2013). Diversos estudos demonstraram que a redução na TMB não acompanha a redução na massa corporal. Desta forma, a redução que ocorre além da esperada pela perda de massa corporal é atribuída à TA.

Camps et al. (2013) submeteram homens e mulheres sobrepesados e obesos a 8 semanas de restrição calórica, seguidas de 44 semanas de manutenção da massa corporal. Durante as 8 semanas de restrição calórica, a massa corporal média dos voluntários foi reduzida de 92,9 para 83,3kg e depois retornou a 87,5kg após as 44 semanas de manutenção. A TMB reduziu significativamente após 8 semanas de restrição calórica e ao término do estudo ainda estava abaixo da inicial. Os autores também realizaram a comparação da TMB mensurada por calorimetria e estimada e demonstraram que, após as 8 semanas de restrição calórica, estimativas superestimavam a TMB.

Johannsen et al. (2013) verificaram o efeito de 30 semanas de perda severa de massa corporal, com média de 38% da massa corporal inicial, da qual, em média, 83% foi perda de massa gorda e 17% de massa magra. Apesar do que os autores consideram como manutenção relativa da massa magra, a TMB decaiu desproporcionalmente à redução na massa magra.

Tremblay e Chaput (2009) submeteram 8 homens obesos a um déficit energético diário de 700KCal e mensuraram a TMB após a perda de 5kg, de 10kg e na fase de estabilização da massa corporal, denominada de platô. Durante o estudo, a massa magra permaneceu inalterada, entretanto, a TMB apresentou redução de aproximadamente 100KCal/dia após a perda de 5kg e de cerca de 170KCal/dia no platô, correspondendo a 30,9% da resistência à continuidade da perda de massa corporal nesta fase.

Doucet et al. (2001) reportaram que, após 2 semanas de restrição calórica, a TMB de homens obesos estava 112 e 151KCal abaixo da estimada para homens e mulheres, respectivamente. Após 8 semanas, esta diferença ficou em 230KCal/dia para homens e 146KCal/dia para mulheres. Doucet et al. (2003) demonstraram que

esta redução no GE também ocorre durante o exercício após 15 semanas de restrição calórica.

A TA pode representar um mecanismo de defesa cujo objetivo é proteger os estoques energéticos de crescimento ou depleção acelerados (Tremblay et al., 2012). Os principais mecanismos fisiológicos envolvidos na redução da TMB em resposta a um período de balanço energético negativo são a redução nas concentrações de triiodotironina (T3) e de leptina, ambos reguladores do metabolismo, redução na atividade do sistema nervoso simpático, além de fatores hereditários (TREMBLAY et al., 2012; MÜLLER E BOSY-WESTPHAL, 2013)

Considerando que no ambiente clínico a TMB é normalmente estimada, devido aos custos da realização de calorimetria direta ou indireta, este desacoplamento entre a TMB real e a estimada pode afetar a previsibilidade da perda de peso em intervenções que envolvam mudanças dietéticas, exercício físico ou a sua combinação. Após curtos períodos de restrição calórica, o déficit energético passa a não ser o estimado e a perda de peso é desacelerada ou interrompida.

1.3.4.2 Redução na quantidade de atividade física

O GEAF envolve tanto a prática de exercício físico como as demais atividades físicas do dia a dia, conforme descrito por Caspersen et al. (1985). As atividades diárias constituem a maior parte do GEAF quando comparado ao exercício físico, especialmente em países mais desenvolvidos, onde a porção do exercício físico é negligenciável ou nula para a maior parte da população (Levine, 2004).

Outro aspecto importante na relação entre o exercício físico e a atividade física está no fato de que alguns estudos demonstram que, apesar do exercício poder ser uma estratégia eficaz na perda de peso, nem sempre esta perda é a prevista (MELANSON, 2017). Um dos mecanismos propostos é a redução na quantidade de atividade física realizada, especialmente nos dias em que os indivíduos são submetidos a sessões de treino, denominada de compensação energética do exercício.

Neste sentido, Meijer et al. (2000) submeteram uma amostra de 22 idosos de ambos os gêneros a um programa de treinamento de 12 semanas, com avaliações no período pré-intervenção e após 6 e 12 semanas de treinamento. Os autores reportaram que após o período de treinamento, o aumento na quantidade de

exercício foi compensado por redução na quantidade de atividade física. Entretanto, Lemmer et al. (2001) submetem homens e mulheres jovens e idosos a um programa progressivo de treinamento resistido com duração de 24 semanas e não reportaram redução na quantidade diária de atividade física. Tanto o estudo de Meijer et al. (2000) quanto o estudo de Lemmer et al. (2001) utilizaram acelerômetros para a determinação da quantidade de atividade física diária.

McNeil et al. (2017) verificaram se a quantidade de exercício pode ser um fator que afete a compensação energética do exercícios. Os autores coletaram os dados dos estudos *Alberta Physical Activity and Breast Cancer Prevention* (ALPHA) e *Breast Cancer and Exercise Trial in Alberta* (BETA), realizados com mulheres pós-menopáusicas. Os estudos envolveram doses de 150, 225 e 300 minutos por semana de treinamento aeróbio, entre 60 e 80% da frequência cardíaca máxima (FC_{máx}), durante um período de 12 meses. A compensação energética do exercício foi estimada pela relação entre variações na composição corporal e gasto energético estimado do exercício, além da determinação da TMB e ingestão energética. Não foram encontradas diferenças na compensação energética do exercício, entretanto, 9,4% das participantes tiveram redução na massa corporal superior à esperada pelo exercício, 64% apresentam algum tipo de compensação energética e 26,6% apresentaram aumento da massa corporal em relação ao gasto energético do exercício. Estes dados apontam para o fato de que as respostas são altamente individuais.

No estudo de Castro et al. (2016), 89 homens e mulheres sobrepesados e obesos foram divididos em grupo de treinamento resistido, treinamento aeróbio ou a combinação dos dois, durante um período de 22 semanas onde foi realizada restrição calórica de 25 a 30%. OS autores reportaram aumento na quantidade de atividades físicas leves e redução no tempo de comportamento sedentário, apontando para o fato de que aumento na aptidão física pode ser um fator que eleve a quantidade de atividade física durante o dia.

Herrmann et al. (2016) compararam as respostas dos indivíduos considerados respondedores e não respondedores a intervenções de exercício com sessões 5 de 400KCal ou 600 KCal por semana, durante um período de 10 meses. Dos voluntários, 40 foram considerados respondedores e 34 considerados não respondedores. Os indivíduos respondedores apresentaram aumento do GETD e do GEAF, ao passo que não respondedores tiveram a resposta oposta. Na comparação

da ingestão calórica, os não respondedores apresentaram resultados significativamente mais altos que os respondedores.

Outro fator que parece determinar se a prática de exercício leva a aumento ou redução da quantidade de atividade física é a quantidade inicial de atividade física que os indivíduos realizam diariamente. O estudo de Wang et al. (2017) demonstrou que a prática regular de exercício físico promoveu redução na atividade física apenas de mulheres que somavam as maiores quantidades antes do treinamento, ao passo que aquelas que realizavam pouca atividade física não apresentaram modificações.

Este conjunto de estudos permite concluir que a prática regular de exercício físico pode aumentar a quantidade de atividade física diária de indivíduos com baixo nível de aptidão física, mas também pode promover redução para indivíduos que já tenham grande quantidade incorporada em sua rotina. Indivíduos não respondedores a intervenções em geral reduzem a quantidade de atividade física diária em resposta a um programa de exercícios.

1.3.4.3 Aumento da ingestão energética

A ingestão energética (IE) é regulada por um conjunto de mecanismos que envolvem os sistemas nervoso e endócrino, por meio de sinais enviados a partir de diferentes tecidos periféricos que incluem o tecido adiposo branco, trato gastrointestinal, glândulas tireoide e adrenais, músculo esquelético e gônadas. Os sinais com efeito anabólico aumentam o apetite, estimulam a IE e promovem o aumento da massa corporal, ao passo que os sinais catabólicos promovem a saciedade, reduzem a IE e promovem redução da massa corporal e estoques energéticos (MELZER et al, 2005). Dentre os principais sinalizadores anabólicos estão o neuropeptídeo Y e a grelina e dentre os sinalizadores catabólicos estão a insulina, leptina, hormônio liberador da corticotropina e a proopiomelanocortina (WOODS et al., 2000).

Todos estes mecanismos são integrados no intuito de manter a homeostase energética, de maneira a equilibrar o GE e a IE. Entretanto, a ingestão alimentar estimula centros cerebrais no hipotálamo envolvidos com prazer e recompensa e a motivação para o consumo de alimentos pode ir além da necessidade da manutenção da homeostase energética no organismo, mesmo na presença de estado de saciedade (EGECIOGLU et al., 2011).

De acordo com Blundell et al. (2003), o exercício físico afeta a IE agudamente, de maneira que após uma sessão de exercício indivíduos aumentam sua sensibilidade à sinalização de saciedade e alteram a sua preferência por macronutrientes. Cronicamente, a prática de exercício altera os sistemas hedônicos de controle da ingestão alimentar e o prazer com o consumo de alimentos é elevado.

1.3.4.3.1 Efeitos agudos do exercício sobre a ingestão energética

Agudamente, o exercício físico pode causar uma redução na concentração de hormônios relacionados ao apetite, um fenômeno denominado “anorexia induzida pelo exercício” (THACKRAY et al., 2016), entretanto, quando se verifica o efeito do exercício sobre a IE, na comparação entre exercício e repouso, a maioria dos estudos não demonstra aumento em homens (HARRIS E GEORGE, 2008; KING et al., 2010a; KING et al., 2010b; BALAGUERA-CORTES et al., 2011; WASSE et al., 2012; BILSKI et al., 2013; DEIGHTON et al., 2013a; DEIGHTON et al., 2013b; ROCHA et al., 2013) e mulheres (GEORGE E MORGANSTEIN, 2003; TSOFILIOU et al., 2003; MARAKI et al., 2005; DODD et al., 2008; UNICK et al., 2010; ALIZADEH et al., 2015). Nestes estudos, apesar da manutenção da IE, houve aumento do GE induzido pelo exercício, portanto, ocorreu menor ingestão energética relativa (IER), calculada pela diferença entre o GE do exercício e o GE de repouso, o que relata maior déficit energético.

O período do dia em que o exercício é realizado parece não surtir efeito sobre a IE. Alizadeh et al. (2015) compararam a IE de mulheres sobrepesadas após 30 minutos de exercício na esteira na intensidade correspondente ao limiar ventilatório, realizadas no período da manhã ou da tarde, com situação de controle nos dois períodos. Os autores não relataram diferenças da IE em nenhum dos períodos, comparados ao controle. Maraki et al. (2005) submeteram mulheres eutróficas sedentárias a 1 hora de combinação de exercícios aeróbios e com pesos nos períodos da manhã e da tarde e também não reportaram qualquer mudança na IE comparado ao repouso nos mesmos períodos.

Comparações entre indivíduos eutróficos e sobrepesados ou obesos também não demonstraram diferenças na IE após o exercício. George e Morganstein (2003) verificaram o efeito de 1 hora de caminhada a 60% da frequência cardíaca máxima (FC_{máx}) sobre a ingestão alimentar de mulheres eutróficas e sobrepesadas. Os autores não reportaram mudanças na IE após o exercício, entretanto, as mulheres

sobrepesadas ingeriram mais calorias e maior quantidade de gordura tanto na situação controle quando após o exercício quando comparadas às eutróficas.

Esta comparação também foi realizada com homens em dois estudos. Westerterp-Plantenga et al. (1997) compararam o efeito de 2 horas de exercício em cicloergômetro a 60% da potência máxima de homens eutróficos e obesos. Os dois grupos apresentaram redução da IE após o exercício quando comparado à situação de repouso. Ueda et al. (2009) também verificaram redução na IE e na IER de homens eutróficos e obesos após a realização de uma hora de exercício em cicloergômetro a 50% do consumo máximo de oxigênio ($VO_{2m\acute{a}x}$), entretanto o maior déficit energético ocorreu no grupo de indivíduos obesos. Desta forma, é possível concluir que as respostas agudas não são diferentes entre indivíduos eutróficos e sobrepesados ou obesos de ambos os gêneros.

Dois estudos demonstraram que o estado de treinamento também não afeta a IE agudamente após o exercício. Larson-Meyer et al. (2012) comparou a IE de mulheres corredoras à de mulheres praticantes de caminhada após uma hora de exercício a 70% do $VO_{2m\acute{a}x}$. A IE dos dois grupos após o exercício foi similar, entretanto, o grupo de mulheres treinadas teve um GE médio de 483,1 KCal/hora comparado ao GE de 324,5 KCal/hora das destreinadas. Assim, o grupo treinado teve menor IER e maior déficit energético.

Rocha et al. (2011) compararam o efeito de 60 minutos de exercício a 50% do $VO_{2m\acute{a}x}$ de homens treinados e sedentários durante 3 dias de análise. O grupo treinado apresentou aumento em uma refeição no dia do treinamento e o grupo sedentário em uma refeição no terceiro dia após o treinamento, mas sem que a IE diária total dos grupos fosse diferente em qualquer um dos três dias de análise. A combinação dos estudos de Larson-Meyer et al. (2012) e de Rocha et al. (2011) demonstra que o estado de treinamento não promove alterações na IE, entretanto, os indivíduos treinados conseguem ter maior GE durante o exercício e, desta forma, promovem menor IER e maior déficit energético, o que ressalta a importância do condicionamento para a promoção de déficit energético e perda de peso.

Outro aspecto de grande relevância está na forma de se promover este déficit energético. King et al. (2011) compararam a IE de homens saudáveis após um dia de repouso, após 90 minutos de exercício em esteira a 70% do $VO_{2m\acute{a}x}$ e de um déficit energético, similar ao do exercício, induzido por dieta. Apenas a situação de restrição alimentar promoveu aumento na IE. Alajmi et al. (2016) verificaram o efeito

do mesmo déficit energético, induzido por dieta ou por 90 minutos a 70% do $VO_{2máx}$ sobre a IE de homens e mulheres saudáveis. Os autores reportaram que a IE foi elevada apenas na condição de déficit induzido por restrição alimentar. Assim, percebe-se que o exercício induz um GE que é mais eficaz que a restrição alimentar para induzir déficit energético.

Apenas um estudo (BALAGUERA-CORTES et al., 2011) comparou o efeito do tipo de treinamento. Os autores submeteram homens ativos a uma sessão de treinamento aeróbio de 45 minutos a 70% do $VO_{2máx}$, uma sessão de treinamento resistido com três séries máximas de 12 repetições em 8 exercícios com um minuto de intervalo e duração total de 45 minutos ou uma sessão controle, em que os indivíduos permaneciam em repouso. Apesar do maior GE reportado na sessão de treinamento aeróbio, a IE não foi diferente nas três situações.

O fator mais estudado em relação ao efeito agudo do exercício sobre a IE é a comparação entre métodos de treinamento contínuos e intervalados. Dois estudos não demonstraram diferenças na IE após métodos contínuos e intervalados (DEIGHTON et al., 2013a; DEIGHTON et al., 2013b), entretanto, o protocolo de exercício contínuo promoveu maior GE, portanto menor IER. Dois estudos reportaram maior IE após o treinamento intervalado e não após o contínuo. Um deles com mulheres, sendo que os dois protocolos tiveram GE igualado em 350KCal (POMERLEAU et al., 2004) e o outro com homens (BILSKI et al., 2013). Apenas o estudo de Sim et al. (2013) reportou diminuição da IE após treinamento intervalado. Os autores submeteram os voluntários a um dia de repouso, uma sessão de treino contínuo de 30 minutos a 60% do $VO_{2máx}$, protocolo intervalado de alta intensidade, que alternava 60 segundos a 100% do $VO_{2máx}$ com 240 segundos a 50% do $VO_{2máx}$ e protocolo intervalado de muito alta intensidade, que alternava 15 segundos a 170% do $VO_{2máx}$ com 60 segundos a 32% do $VO_{2máx}$. Cabe ressaltar que o estudo foi realizado com homens sedentários sobrepesados e que o exercício não foi bem tolerado pelos participantes. Desta forma, o estado de treinamento ou mesmo a composição corporal podem ser fatores que influenciem a resposta da IE após o treinamento intervalado, visto que os demais estudos, em sua maioria, empregaram métodos contínuos.

Além disso, um elegante estudo realizado por Finlayson et al. (2009) demonstrou que, em uma amostra de 24 mulheres saudáveis, havia aquelas que foram consideradas compensadoras, pois aumentaram a sua IE após 50 minutos de

exercício a 70% da FC_{máx}. Este estudo demonstra que a resposta pode ser mais determinada pelo próprio indivíduo que os demais fatores supramencionados como estado de treinamento, método de exercício, composição corporal, entre outros. Ademais, os estudos são conduzidos, em sua maioria, por períodos curtos de tempo após o exercícios. Os estudos de King et al. (2010b) e Deighton et al. (2013b) foram realizados em períodos de 24 horas e demonstraram que mesmo que haja modificações em uma refeição, a IE de 24 horas após o exercício fica inalterada. O estudo de Rocha et al. (2013) demonstrou que este balanço não foi alterado durante 3 dias após o exercício, período após o qual dificilmente alguma mudança relacionada a uma sessão de exercício seria observável. Por isso é necessário que se tenha cautela na extrapolação de dados agudos e se tenha estudos a respeito do efeito crônico do exercício sobre a IE.

1.3.4.3.2 Efeito crônico do exercício sobre a ingestão energética

O primeiro efeito de um programa de exercício sobre a IE pode ser observado em estudos de curta duração, com intervenções de até 14 dias. Cameron et al. (2016) verificaram o efeito de um déficit energético diário de 25% induzido por exercício ou restrição alimentar, durante um período de 3 dias. Os autores reportaram aumento compensatório na IE quando os indivíduos foram submetidos à restrição alimentar, mas não ao exercício, corroborando estudos agudos que demonstraram aumento na IE apenas com restrição alimentar e déficit isocalórico.

Stubbs et al. (2002a) submeteram um grupo de mulheres a três intervenções com duração de sete dias cada: um período sem exercício, com GET diário médio de 2.198,8 KCal, um período de quantidade média de exercício aeróbio (~454KCal/dia) com GET diário médio de 2.629 KCal e um período de grande quantidade de exercício aeróbio (~812KCal/dia), com GET diário médio de 2.892KCal/dia. A ingestão alimentar, nas três situações foi de 2.127, 2.199 e 2.390 KCal/dia, respectivamente, o que significa que cerca de somente 33% do GE do exercício foi contrabalanceado com aumento na IE.

Stubbs et al. (2002b) realizaram experimento similar com homens em três intervenções de 7 dias: período sem exercício com GET diário de 2.796KCal, período com quantidade média de exercício aeróbio (~382KCal/dia) e GET diário de 3.083KCal e período com quantidade alta de exercício aeróbio (~764KCal/dia) e GET diário de 4.015KCal. A IE diária média nas três situações foi de 2.772 no

período sem exercício e de 2.878 KCal/dia nas duas intervenções com exercício, sugerindo que homens possam não apresentar esta compensação do exercício na IE.

Um estudo realizado por Whybrow et al. (2008) verificou o efeito de quantidade moderada (358-478KCal/dia) e alta (717-956KCal/dia) de exercício aeróbio, comparadas a um período de controle, todos com 14 dias de duração, sobre a IE de homens e mulheres. Em média, 30% do GE promovido pelo exercício foi compensado por aumento na IE, entretanto os autores apontam para a grande variação que foi encontrada no estudo.

Outra resposta apresentada a um programa de treinamento é o aumento do apetite. Entretanto, apesar deste aumento, a maioria dos estudos não reporta aumento na IE pois, concomitante ao aumento no apetite, ocorre o aumento da sensação de saciedade após uma refeição padrão (KING et al., 2010c; MARTINS et al., 2010; CAUDWELL et al., 2013).

Em períodos mais longos, no estudo de Donnelly et al. (2013), em que a perda de peso após 10 meses foi proporcional ao gasto energético das sessões de treino, não houve qualquer efeito das duas doses de exercício aeróbio (400 ou 600 KCal por sessão) sobre a ingestão energética. Caudwell et al. (2013), submeteram homens e mulheres a 12 semanas de treinamento aeróbio a 70% da FCmáx com GE semanal de 2.500 KCal e não reportaram aumento na IE. Por fim, o mesmo foi encontrado por Donnelly et al. (2003) após 16 meses de treinamento aeróbio progressivo de 60 a 75% da FCmáx.

Apesar de que alguns estudos não reportem aumento na IE quando se analisa a média de um grupo amostral, a responsividade individual parece ser um aspecto fulcral. King et al. (2010c) verificaram o efeito de 12 semanas de treinamento aeróbio com GE semanal de 2500 Kcal. Os autores classificaram os voluntários como respondedores e não respondedores em relação à perda de peso. Os não respondedores, que obtiveram pouca ou nenhuma perda de peso, foram os que apresentam aumento na IE.

Caudwell et al. (2009) submeteram homens e mulheres obesos a 12 semanas de exercício aeróbio a 70% da FCmáx, com 5 sessões semanais de 500KCal. A redução média na massa corporal foi de 3,2kg, entretanto, a variação foi de perda de 14,7kg até aumento de 2,7kg durante o período. Os indivíduos que apresentaram pouca ou nenhuma diminuição ou mesmo aumento da massa corporal foram os que

tiveram aumento na IE e também redução no consumo de frutas e vegetais, evidenciando o papel do treinamento na escolha dos alimentos.

Westerterp et al. (1990) evidenciaram que pode haver diferenças entre homens e mulheres na compensação em resposta ao exercício. Os autores acompanharam indivíduos que estavam em 40 semanas de preparação para uma maratona e repostaram que os homens apresentaram tendência à redução da IE enquanto que as mulheres apresentaram aumento da IE, corroborando com os estudos de Stubbs et al. (2002a; 2002b).

Um estudo realizado por King et al. (2008) separou homens e mulheres sobrepesados ou obesos em compensadores e não compensadores. Após 12 semanas de treinamento com GE semanal de 2500KCal, os compensadores elevaram a sua IE em 268KCal/dia, ao passo que os não compensadores reduziram a sua IE em 130KCal/dia. Este conjunto de estudos demonstra que a análise individual é fundamental para que se verifique a eventual influência de um efeito crônico do treinamento sobre a IE.

1.3.5 Déficit energético seguro

Conforme descrito anteriormente, o déficit energético é necessário para que se obtenha redução da massa corporal. Este relato foi bem descrito em um estudo publicado por Mazanski (1975) que descreveu a intervenção com dieta, exercício físico e tratamento medicamentoso em 263 obesos. De acordo com o autor, o exercício não apenas aumenta o GE no dia em que é praticado, mas também melhora o condicionamento físico e a atitude psicológica em relação ao exercício, o que aumenta a sua prática. Atualmente, já se tem como possíveis mecanismos termogênicos adicionais do exercício o aumento do *turnover* proteico, da atividade de enzimas que promovem o desacoplamento da respiração mitocondrial com liberação de calor e da atividade do sistema nervoso simpático (STIEGLER e CUNLIFFE, 2006).

Diversas revisões sistemáticas e meta-análises foram conduzidas e demonstraram não apenas que a combinação entre exercício e dieta é mais efetiva na redução da massa corporal que um destes isolados, mas também que a inclusão do exercício em intervenções de redução da massa corporal previne a redução na massa livre de gordura e na TMB e aumenta a magnitude de melhora do perfil

lipídico (GARROW E SUMMERBELL, 1995; SCHWARTS E DOUCET, 2010; WEINHEIMER et al., 2010; KELLEY et al., 2012; WASHBURN et al., 2014).

Chaston et al. (2007) ainda apontam para o fato de que a magnitude do déficit energético afeta diretamente a quantidade de massa livre de gordura que pode ser perdida em uma intervenção de redução da massa corporal. Nesta linha, Nindl et al. (2007) verificaram o efeito de 8 semanas de treinamento militar com déficit de 1.000KCal/dia, que promoveu perda de 13% na massa corporal acompanhada de redução em diversos parâmetros de performance, redução na concentração plasmática de testosterona e IGF-1 e aumento na concentração de cortisol. Friedl et al. (2000) também acompanharam soldados no treinamento militar de 8 semanas e os dividiram em grupo de restrição de 1.000KCal/dia e de 1.200KCal/dia. O grupo de maior restrição calórica apresentou redução na concentração plasmática de T3, testosterona e IGF-1, além de aumento do colesterol total, já o grupo de menor restrição calórica apresentou menores efeitos sobre a redução da concentração de T3 e aumento do colesterol.

Weiss et al. (2005) submeteram homens e mulheres saudáveis com faixa etária entre 50 e 60 anos e um período de 12 meses de treinamento aeróbio com 5 sessões semanais de 320KCal, o que resultou em déficit diário médio de 230KCal ou restrição calórica similar. Os grupos apresentaram perda de massa corporal próxima a 10%, com perda de 3,5% de massa magra no grupo de restrição calórica e 2,2% no grupo exercício, demonstrando que o exercício foi capaz apenas de atenuar a perda de massa magra nesta população.

Chomentowsky et al. (2009) compararam a restrição calórica isolada e sua combinação com exercício. O estudo gerou déficit de 500 a 1000KCal/dia e demonstrou redução na massa gorda de cerca de 6 a 7kg em ambos os grupos, sem diferenças entre eles. Entretanto, os autores reportaram redução na massa magra de 4,3% no grupo de restrição isolada e 1,1% no grupo de restrição com exercício. Este conjunto de estudos demonstra que a magnitude da restrição energética pode afetar a perda de massa magra, corroborando a meta-análise de Chaston et al. (2007) e reforçando a importância do conhecimento do GE do exercício para que o déficit energético não seja exagerado quando exercício e restrição calórica são combinados em intervenções de redução da massa corporal.

Além dos efeitos sobre a redução da massa magra e TMB, o déficit energético pode promover distúrbios hormonais relacionados à função reprodutora feminina.

Uma revisão feita por Maïmoun et al. (2014) demonstrou o problema do desequilíbrio energético em atletas adolescentes do gênero feminino, especialmente aquelas que participam de modalidades esportivas onde a manutenção da massa corporal é de particular importância. Elas podem apresentar distúrbios como atraso no crescimento e na puberdade e redução na concentração de estrógeno com potenciais prejuízos na formação da massa óssea.

Com atletas adultas, Reed et al. (2015) demonstraram que o DE é o principal fator que discrimina as atletas amenorreicas das eumenorreicas. Um estudo conduzido por Lieberman et al. (2017) separou mulheres atletas em 3 grupos distintos para gerar DE e demonstrou que para cada unidade de redução na disponibilidade energética, calculada pela IE subtraída do GE do exercício (KCal/kg.dia), a chance de distúrbios menstruais aumenta em cerca de 9%.

Gibbs et al. (2013) avaliaram a disponibilidade energética de mulheres atletas e as separaram em grupo de disponibilidade normal e disponibilidade baixa, com 42KCal/kg.dia e 35KCal/kg dia, respectivamente. Os autores reportaram maior incidência de distúrbios menstruais no grupo de baixa disponibilidade energética. Williams et al. (2010, 2013) demonstraram que a disponibilidade energética é melhor preditor de distúrbios menstruais que as mudanças na perda de peso, o que reforça a necessidade de conhecimento do GE das atletas para a prevenção destes problemas.

Além dos distúrbios fisiológicos, a restrição calórica (RC) ainda pode promover distúrbios cognitivos. Em dois estudos, Kretsch et al. (1997,1998) demonstraram que um período de 15 semanas com RC de 50% em mulheres obesas pode promover redução no tempo de reação e na atenção, sendo a redução na atenção associada a redução na quantidade de hemoglobina.

Green et al. (2005) verificaram parâmetros cognitivos de mulheres que praticavam dieta em grupos com supervisão, dieta sem supervisão e um grupo controle. As mulheres que promoveram a dieta sem supervisão apresentaram redução na vigilância, planejamento executivo e tendência de redução na memória visual. Cabe ressaltar que neste estudo, apenas este grupo apresentou redução significativa na massa corporal, desta forma, a ausência de mudanças no grupo supervisionado pode estar associado à falta de déficit energético.

O conjunto de prejuízos cognitivos e psicológicos associados à RC ainda incluem depressão, amortecimento emocional, irritabilidade e distúrbios alimentares

como compulsão alimentar, anorexia e bulimia nervosa (REDMAN et al., 2008; DIRKS E LEEWENBURGH, 2006; da LUZ et al., 2015;).

Os estudos supramencionados que demonstram os possíveis prejuízos de déficit energético sobre parâmetros fisiológicos e cognitivos não apresentam a magnitude do déficit energético, cuja importância foi ressaltada por Chaston et al. (2007). Desta forma, a conhecimento do GE do exercício permitirá estudos futuros a determinar exatamente o déficit energético promovido pelas intervenções e a magnitude de déficit energético segura para diferentes populações.

1.4 Gasto energético no treinamento resistido

O GE que se tem em um determinado exercício é consequência da produção de calor vinda do *turnover* de ATP, ou seja, o balanço entre a sua hidrólise e ressíntese (SCOTT, 2006). Conforme descrito na sessão anterior, diversas maneiras estão disponíveis atualmente para a quantificação do GE do exercício, sendo as mais vantajosas a calorimetria direta e a calorimetria indireta. De uma maneira geral, a calorimetria direta possui limitações, especialmente no que diz respeito à medida do GE de organismos de médio a grande porte, o que inclui humanos (SCOTT, 2006). Em relação ao exercício, esta medida também se torna difícil devido ao espaço necessário para análise.

Desta forma, para a medida do GE em exercícios resistidos é utilizada a calorimetria indireta, onde o GE é relacionado à quantidade de O₂ metabolizada. Para tanto, é necessário que o indivíduo realize o exercício com um analisador de gases para que o consumo de oxigênio seja relacionado ao GE (PHILLIPS E ZIURATIS, 2003). Esta medida, entretanto, possui uma limitação quando se trata do TR, pois esta é uma modalidade de exercício que não depende exclusivamente do metabolismo aeróbio para a ressíntese de ATP. Estudos prévios de nosso laboratório demonstraram que o limiar anaeróbio em exercícios resistidos se encontra em cerca de 25 a 30% de 1RM (BARROS et al., 2004; de SOUZA et al., 2011; de SOUZA et al., 2012). Sendo assim, qualquer protocolo de TR acima desta intensidade acarretará em um componente anaeróbio em seu GE, que não pode ser quantificado pela calorimetria indireta, devido à ressíntese de ATP por vias não aeróbias.

Di Prampero e Ferreti (1999) e Margaria (1933) propuseram uma conversão da quantidade acumulada de lactato sanguíneo, calculada pela variação da lactacidemia (Δlac) e seu equivalente em consumo de O_2 . Assim, foi proposto que para cada mmol de lactato por kg de massa corporal, seja atribuído um GE equivalente a 3ml de O_2 , considerando-se que o consumo de 1 litro de O_2 corresponda ao gasto de 5,05Kcal, pois é advindo exclusivamente do metabolismo de carboidratos.

O primeiro trabalho a aplicar este método foi o de Scott (2006), em que foi comparado o GE em dois protocolos de TR, a 60 e 80% de 1 repetição máxima (1RM). Os resultados demonstraram que, para a maior parte dos exercícios e protocolos estudados, quando foi acrescentado o componente anaeróbio ao GE, este foi significativamente mais alto. Com isso, pode-se concluir que estudos prévios, que estimaram o GE apenas pelo seu componente aeróbio, subestimaram o GE em TR.

O gasto energético do TR deve ser quantificado a partir de três componentes: aeróbio, EPOC (*excess post-exercise oxygen consumption*) e anaeróbio. O componente aeróbio consiste no consumo de O_2 durante as séries, onde cada litro de O_2 corresponde ao GE de 5,05 KCal, por se pressupor um quociente respiratório (QR) maior ou igual a 1,00, onde os músculos ativos metabolizam apenas glicose (SCOTT, 2006).

O EPOC é dado pelo consumo de O_2 nos intervalos entre séries e na recuperação do protocolo. O valor do equivalente energético de cada litro de oxigênio consumido neste período é variável na literatura. Para Scott (2006), cada litro de O_2 corresponde ao GE de 4,7KCal por se pressupor um QR de 0,70, momento em que os músculos ativos metabolizam apenas lipídeos. Thornton et al. (2011) consideram o equivalente energético do consumo de oxigênio em 4,8KCal/L, devido a uma combinação do metabolismo de carboidratos e lipídeos nesse período, o que parece mais provável.

A literatura também apresenta variações no método de determinação do EPOC. Vianna et al. (2014) realizaram o cálculo do EPOC após uma série máxima de exercício pela constante do tempo e amplitude da recuperação. Scott (2011a) e Scott et al. (2011b) consideram que o indivíduo permanece em EPOC até que as medidas do consumo de oxigênio fiquem abaixo de $5,0\text{mL}(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1}$, o que corresponde a um consumo em que o indivíduo permanece repousando em pé.

Ratamess et al. (2007) calcularam o EPOC após séries de exercício com diferentes intervalos e consideraram o consumo total no período após o exercício.

A grande maioria dos estudos calcula o gasto energético no EPOC pela subtração do consumo de repouso do consumo após o exercício (HALTON et al., 1999; BINZEN et al., 2001; THORNTON E POTTEIGER, 2002; KANG et al., 2005; HADDOCK E WILKIN, 2006; HEDEN et al., 2011; THORNTON et al., 2011; BRENTANO et al., 2016). Este método é mais preciso pois, considerando que o EPOC corresponde ao excesso de consumo após o exercício, a subtração do consumo de repouso representa exatamente o que o exercício promove de efeito EPOC.

O componente anaeróbio láctico é dado pelo cálculo proposto por Di Prampero e Ferreti (1999) e Margaria (1933). Outra opção para a quantificação do componente aeróbio e do EPOC está no uso de softwares que calculam o equivalente energético de cada litro de oxigênio por meio do QR não proteico, conforme proposto por Weir (1949). Este método leva em consideração a o equivalente energético do consumo de oxigênio a partir dos valores de QR de 0,70 a 1,00 ou superior. Desta forma, é mais preciso pois não pressupõe um valor fixo durante as séries e na recuperação.

1.4.1 Ergogênese do TR

Conforme descrito anteriormente, o TR é uma modalidade que se caracteriza por não permitir, em geral, que o indivíduo atinja um estado estável metabólico, exigindo também do componente anaeróbio para a produção de energia. A combinação destas vias de produção de energia para a produção total de ATP durante o exercício é denominada ergogênese.

O estudo de Scott (2006) quantificou o gasto energético aeróbio e anaeróbio de homens e mulheres com experiência em TR em duas séries dos exercícios leg press, supino reto e rosca direta, nas intensidades de 60% e 80% de 1RM. Na intensidade de 60% de 1RM foram realizadas duas séries máximas e na intensidade de 80% de 1RM foram realizadas duas séries de 6 repetições na rosca direta, de 8 repetições no supino reto e de 10 repetições no leg press. O autor optou por intensidades que levariam a diferentes durações nas séries e consequentes diferenças no metabolismo. Para a determinação da ergogênese, foi considerada como contribuição aeróbia a soma do consumo de oxigênio durante as séries e no

EPOC, enquanto que o componente anaeróbio foi dado pela conversão da lactacidemia. Na intensidade de 60% de 1RM, considerando a média dos exercícios, a ergogênese foi 36,76% anaeróbia e 63,74% aeróbia na primeira série e, na segunda série, 19,29% anaeróbia e 71,81% aeróbia. Na intensidade de 80% de 1RM, a primeira série contou com 36,43% de participação anaeróbia e 63,54% de participação aeróbia enquanto que, na segunda série, o componente anaeróbio foi responsável por 21,93% da produção de energia e o aeróbio por 78,07%.

Scott et al. (2009) quantificaram o GE em três séries do exercício supino reto, com 7, 14 e 21 repetições a 50% de 1RM, todas submáximas. Na série de 7 repetições, o percentual anaeróbio, aeróbio e do EPOC foi de 31,4%, 18,2% e 50,4%, respectivamente. Na série de 14 repetições, estes percentuais foram de 39,3%, 18,7% e 42%, respectivamente. Já na série de 21 repetições, o componente anaeróbio foi responsável por 44,8% da produção de ATP, enquanto que o componente aeróbio foi de 21,3% e o EPOC de 33,9%.

Em outro estudo com séries máximas, Scott et al. (2011a) quantificaram o GE e a ergogênese em 6 protocolos de supino reto até a falha concêntrica. Três deles foram realizados em estresse tensional, nas intensidades de 70%, 80% e 90% de 1RM e três com estresse metabólico, nas intensidades de 37%, 46% e 56% de 1RM. Nos protocolos tensionais, a maior contribuição anaeróbia foi na intensidade de 70% de 1RM, onde este componente do metabolismo foi responsável por 50,57% do GE. Este valor caiu para 45,47% no protocolo de 80% de 1RM e para 41,57% no protocolo de 90% de 1RM. O EPOC foi responsável por 40,08% da produção de energia no protocolo de 70% de 1RM e nos protocolos de 80% e 90% de 1RM subiu para 44,61% e 51,81%, respectivamente. O menor componente foi o aeróbio, que contribuiu, nas séries a 70%, 80% e 90% de 1RM com 9,35%, 9,91% e 6,63% de 1RM, respectivamente. Nos protocolos de estresse metabólico, determinados com peso fixo, a contribuição anaeróbia, aeróbia e do EPOC foram de 46,38%, 21,42% e 32,20%, respectivamente, na intensidade de 37% de 1RM, 51,31%, 16,06% e 32,61%, respectivamente, na intensidade de 46% de 1RM e de 49,58%, 15,91% e 34,52%, respectivamente, na intensidade de 56% de 1RM. É interessante notar, por este estudo, que a não consideração do componente anaeróbio deste estudo levaria a subestimar o GE em cerca de 40 a 50%.

Também utilizando o supino reto, Scott et al. (2011b) quantificaram a ergogênese de duas séries até a falha concêntrica, nas intensidades de 70%, 80% e

90% de 1RM. Os resultados demonstraram que o maior componente do GET foi o EPOC, sendo responsável por 51,29% da produção de energia a 70% de 1RM, 53,80% a 80% de 1RM e 61,79% na intensidade de 90% de 1RM. O EPOC foi considerado até que duas medições seguidas, feitas a cada 15 segundos, ficassem abaixo de $5,0\text{ml}(\text{kg}\cdot\text{min})^{-1}$. O componente anaeróbio, nas intensidades de 70%, 80% e 90% de 1RM, foi responsável por 34,02%, 36,41% e 29,66% do GET, respectivamente. Já o componente aeróbio, referente ao consumo de oxigênio durante as séries, foi novamente o menor componente, com 14,68% a 70% de 1RM, 9,79% a 80% de 1RM e 8,55% a 90% de 1RM.

Um estudo mais recente, realizado em nosso laboratório (CAMPANHOLI NETO, 2015), quantificou a ergogênese em sessões de TR com características de resistência (50% de 1RM) e hipertrofia (70% de 1RM) e volume total de trabalho igualado. Durante a execução total do protocolo de treinamento, o componente aeróbio, dado pela soma do consumo de oxigênio durante as séries e nos intervalos de recuperação (EPOC), foi de 94,3% na sessão de resistência e de 96,2% na sessão de hipertrofia, mas esta diferença não foi significativa.

Gorostiaga et al. (2010) avaliaram o gasto energético no exercício leg press em duas situações: na execução de uma série de 10RM e na execução de uma série de 5 repetições, com o peso equivalente a 10RM. Os autores realizaram biópsias musculares e reportaram que a série de 5 repetições tinha maior contribuição da via anaeróbia alática, ao passo que a série de 10 repetições tinha maior contribuição da via anaeróbia láctica. Estes achados estão de acordo com o conhecimento clássico da literatura em que o componente anaeróbio alático é a principal fonte de energia no início do exercício e a participação do componente anaeróbio láctico é incrementada à medida em que se aumenta o tempo do exercício.

Estes dados combinados permitem duas conclusões. A primeira é que, apesar do metabolismo predominante durante uma série de exercício resistido ser o anaeróbio, o metabolismo aeróbio tem a maior participação no GE de uma sessão de treino, especialmente na recuperação entre as séries e após a sessão. Isso ocorre pois, apesar do metabolismo anaeróbio ser o maior responsável pela produção de ATP durante as séries de exercícios, o TR é uma modalidade de exercício caracterizada por intervalos entre séries, onde o metabolismo aeróbio é predominante e, inclusive, mais elevado que durante a série (SCOTT, 2011). Desta forma, para a quantificação do GE de exercícios resistidos, deve-se levar em conta o

EPOC para que o GE não seja significativamente subestimado. A segunda conclusão é que, durante séries subsequentes de exercício, o GE não é aumentado, entretanto, ocorre um aumento da participação aeróbia e diminuição da participação anaeróbia para a produção de energia.

1.4.2 Efeitos das variáveis do treinamento resistido

O TR possui diversas variáveis, que possibilitam inúmeras combinações para a elaboração de sessões de treino. Esta elaboração deve ser feita com cautela e de acordo com os objetivos do treinamento, sua fase e também de acordo com a aptidão funcional do praticante.

Anteriormente já foram descritas as aplicações do conhecimento do GE que incluem a adequação nutricional para atletas e prevenção de sobrepeso e obesidade, sua relação com a redução da mortalidade, inclusão em intervenções para emagrecimento e seu conhecimento para promoção de déficit energético que seja eficaz, porém seguro. Certamente estes diferentes objetivos possuem peculiaridades em relação à prescrição do TR, por isso, o efeito das principais variáveis do TR sobre o GE das sessões de treinamento será descrito a seguir.

1.4.2.1 Efeito do volume de treinamento sobre o gasto energético

O volume é o componente quantitativo do TR, composto pela quantidade de exercícios em uma sessão de treino, quantidade de exercícios por grupo muscular, quantidade de séries por exercício ou quantidade de repetições por série. Outra forma comum da determinação do volume de treinamento é pelo cálculo do trabalho total, realizado pelo produto do número de séries pelo número de repetições e o peso levantado em cada repetição, por isso, mensurado em quilogramas (ACSM, 2009).

No estudo de Scott et al. (2009), em que os indivíduos realizavam 7, 14 ou 21 repetições no exercício supino reto, com o GE do exercício de 2,75; 5,31 e 7,27 KCal, respectivamente. Esta diferença foi proporcional ao número de repetições realizado em cada protocolo, desta forma, com a correção do GE em relação à diferença no número de repetições, o GE de cada repetição foi muito próximo entre os 3 protocolos, variando de 0,34 a 0,39 KCal.

Mokerjee et al. (2016) compararam o GE de homens e mulheres em dois protocolos envolvendo 1 ou 3 séries de 5 exercícios de membros superiores a 70% de 1RM. Os autores demonstraram que apesar do maior GE no protocolo de séries múltiplas, não houve diferença no GE quando ele foi corrigido por unidade de tempo (KCal/min). Desta forma, o volume determinou o GE da sessão de treino de maneira diretamente proporcional. Os autores foram metodologicamente cautelosos no sentido de calcular o GE do exercício descontando o valor de repouso dos avaliados.

Outro achado interessante do estudo de Mokerjee et al. (2016) foi a comparação entre homens e mulheres. Quando os dois grupos foram separados, tanto no protocolo de séries simples como no de séries múltiplas, o GE do exercício para os homens foi de 2 a 2,5 vezes superior.

Ancieto et al. (2013) verificaram o GE de homens jovens treinados em protocolos de circuito e séries múltiplas, com 3 séries de 10 repetições a 60% de 1RM. No método de circuito, os exercícios eram realizados sequencialmente em três voltas, ao passo que no método de séries múltiplas eram realizadas 3 séries de cada exercício antes que se partisse ao próximo, na mesma ordem do circuito. O intervalo entre as séries e o tempo total da sessão foram similares. Os autores não reportaram diferenças no GE das duas sessões, demonstrando que o seu principal determinante, em treinos de mesma intensidade, é o volume.

Farinatti et al. (2009) submeteram mulheres treinadas a duas sequências de treinamento envolvendo 3 séries máximas dos exercícios supino reto, desenvolvimento de ombros e tríceps no cross over nesta ordem e na oposta. Os autores reportaram que o volume de treinamento e o GE entre as duas sessões não foram diferentes.

Em nosso laboratório, indivíduos com experiência em treinamento de força foram submetidos a 4 séries de 10 repetições nos exercícios leg press e supino reto, com 3 minutos de intervalo entre séries (MAGOSSO et al., 2013). Nos dois exercícios, na última série o gasto energético foi significativamente mais alto, e aumentou de acordo com a percepção subjetiva de esforço dos voluntários. Neste caso, o efeito foi provocado apenas pela fadiga muscular, visto que as séries foram submáximas, de intensidade constante e a velocidade de movimento foi controlada em 3 segundos por ciclo de movimento, não havendo diferença entre as séries. Entretanto, cabe ressaltar que o maior componente deste gasto energético foi o

EPOC e não se pode descartar a possibilidade de que o intervalo não fosse suficiente para a recuperação completa dos voluntários, especialmente por se tratar de método de séries múltiplas. Desta forma, o EPOC das últimas séries ainda poderia conter um componente de recuperação referente às primeiras séries de exercício.

Este conjunto de estudos demonstra que para a mesma intensidade de treinamento, o volume é o principal determinante do GE do exercício, mesmo que diferentes métodos de treino sejam empregados.

1.4.2.2 Efeito da densidade do treino no GE

A densidade do TR é relação entre o tempo de esforço, ou seja, da execução das séries, e do tempo de descanso entre elas. Os componentes da densidade do treino são, portanto, a duração das séries e o tempo de cada ação muscular nas mesmas, além do intervalo entre séries e exercícios. Assim, o aumento da duração das séries e/ou a redução dos intervalos de recuperação aumenta a densidade de uma sessão.

Ratamess et al. (2007) verificaram o efeito de diferentes intervalos de recuperação sobre o GE em sessões de TR. Os voluntários realizaram 5 protocolos que envolviam 5 séries de 10 repetições a 75% de 1RM, nos intervalos de 30 segundos, 1, 2, 3 e 5 minutos e, com os mesmos intervalos, mais 5 protocolos de 5 séries de 5 repetições a 85% de 1RM. O GE, quantificado em KCal/min, a 75% de 1RM foi de 7,3; 6,2; 5,6; 5,7 e 5,3 KCal/min nos intervalos de 30 segundos, 1, 2, 3 e 5 minutos, respectivamente. Já nos protocolos a 85% de 1RM, o GE, também nesta ordem de intervalos, foi de 6,8; 6,5; 5,3; 5,0 e 4,9 KCal/min, respectivamente. Estes dados demonstram que a diminuição do intervalo entre as séries de exercícios leva a um maior gasto energético quando quantificado por unidade de tempo. Os autores também relataram que os protocolos com maior intervalo foram aqueles com maior GE. Entretanto, cabe ressaltar que não foi subtraído o GE de repouso dos avaliados, que foi provavelmente o responsável por esta diferença.

Farinatti e Castinheiras Neto (2011) verificaram o GE de homens na execução dos exercícios crucifixo e leg press, com intervalos de 1 e 3 minutos de recuperação em protocolos de 5 séries de 10 repetições com o peso correspondente a uma série máxima de 15 repetições. Para isolar o efeito do treinamento, os autores subtraíram

o consumo de repouso dos voluntários e encontraram diferença no gasto total entre os protocolos apenas no crucifixo, onde o protocolo com 3 minutos de intervalo resultou em maior GE quando comparado ao protocolo de com intervalo de 1 minuto. No exercício leg press, não foram encontradas diferenças significativas entre os protocolos.

De maneira similar, Kelleher et al. (2010) também afetaram a densidade da sessão de treino, mas por modificação do método de treino. Eles compararam o GE no treino de séries múltiplas, onde se realiza todas as séries de um exercício antes de se partir ao próximo, com o GE de um treino em super série, onde dois exercícios para músculos de ação antagonista são combinados e o intervalo é dado apenas após a execução dos dois exercícios. No sistema de séries múltiplas, o GE foi de 6,29 KCal/min, comparado a 8,30KCal/min no treino em super série, diferença estatisticamente significativa. Entretanto, devido ao fato do método de super série ter os intervalos apenas a cada dois exercícios realizados, este protocolo foi mais curto, e o GE da sessão foi de 228,2 KCal no método de séries múltiplas e de 241,6 KCal no método de super série, diferença não significativa.

Brentano et al. (2016) submeteram indivíduos treinados a 5 séries máximas de 8 a 10 repetições em 4 exercícios, em dois protocolos distintos. Um protocolo foi realizado com agrupamento dos exercícios para o mesmo grupo muscular, sendo dois exercícios para o peitoral e dois para o quadríceps e um protocolo em que os grupos musculares eram alternados. No protocolo agrupado, os indivíduos realizavam uma série de cada exercício para o mesmo grupo muscular para depois terem o intervalo entre séries, já no protocolo alternado, os indivíduos tinham intervalo após a realização de cada série. Apesar da diferença no tempo total das sessões de treinamento, o GE do exercício, descontado o repouso, foi similar entre os dois métodos, corroborando com demais estudos que demonstram GE proporcional ao volume de treinamento.

Mazzetti et al. (2007) também quantificaram o gasto energético de acordo com a densidade do treino. Eles verificaram o GE em três protocolos de treinamento no agachamento em *hack machine*: um protocolo lento, com 2 segundos de fase excêntrica e dois de fase concêntrica a 60% de 1RM, onde eram realizadas 4 séries de 8 repetições com 90 segundos de intervalo; um protocolo rápido, diferente do anterior apenas no fato da contração concêntrica ser realizada rapidamente e; um protocolo rápido a 80% de 1RM, com 2 segundos de fase excêntrica e 6 séries de 4

repetições com 90 segundos de intervalo. O trabalho total entre os três protocolos não foi estatisticamente diferente, assim como o GET, que considerou o treino e mais 60 minutos de EPOC.

A combinação destes estudos permite concluir que o GE de uma sessão de TR é dependente do volume da sessão e não da sua densidade. Modificações na densidade do treino afetarão o GE apenas quando este for quantificado por unidade de tempo (KCal/min). Para que indivíduos sejam capazes de aumentar o seu GE, eles devem realizar maior volume de treinamento, independente da densidade das sessões.

1.4.2.3 Efeito da intensidade do treino no GE

A intensidade é o componente qualitativo de uma sessão de treinamento, que determina o grau de esforço que se tem durante a execução de um exercício. Quanto maior a intensidade do exercício, expressa em percentual de 1RM, maior o recrutamento de unidades motoras tipo II. Estas unidades motoras, apesar de produzirem grande quantidade de força, são metabolicamente menos eficientes, consumindo maior quantidade de ATP por unidade de trabalho (HUNTER et al., 2005)

No estudo de Scott (2006) foram realizadas duas séries máximas a 60% de 1RM e duas séries submáximas a 80% de 1RM. Quando o GET dos protocolos foi dividido pelo número de repetições (KCal/rep), a 60% de 1RM, os valores médios foram de 0,65Kcal/rep na primeira e 0,72Kcal/rep na segunda série e a 80% de 1RM, mesmo com séries submáximas, o GE médio foi de 1,05Kcal/rep na primeira e 0,95Kcal/rep na segunda série. Estes dados não foram diretamente apresentados no estudo, mas foram calculados a partir do número de repetições e GE reportados pelo autor.

De maneira similar, mais dois estudos permitiram a quantificação do GE por repetição. No estudo de Scott et al. (2009), nas três séries de estresse metabólico, a 37%, 46% e 56% de 1RM, o GE foi de 0,42, 0,54 e 0,70Kcal/rep, respectivamente. Nas séries tensionais, a 70%, 80% e 90% de 1RM, o GE foi de 0,98, 1,42 e 1,82Kcal/rep, respectivamente. Em outro estudo do mesmo grupo, foram realizadas duas séries máximas do exercício supino reto, onde o GE foi de 0,99 e 1,10

KCal/rep nas duas séries a 70% de 1RM, de 1,37 e 1,43 KCal/rep nas duas séries a 80% de 1RM e de 2,00 e 1,98 KCal/rep nas duas séries a 90% de 1RM.

Todos estes resultados mostram claramente que em TR, apesar de se ter um GE total das sessões de treino determinado pelo volume e não pela densidade, esta relação parece ser verdadeira apenas dentro da mesma intensidade. Assim, quanto maior for o percentual de 1RM e conseqüentemente o recrutamento de fibras tipo II, maior será o GE de cada repetição realizada dentro da sessão de treino.

A relação entre a intensidade do treino e o GE de cada repetição parece ser linear. Reis et al. (2017) submeteram indivíduos treinados a séries de 5 minutos de duração nas intensidades de 12%, 16%, 20% e 24% de 1RM e mais uma série máxima a 80% de 1RM. Os autores reportaram o GE e plotaram em regressão com a intensidade, demonstrando que a relação entre o percentual de 1RM e o GE é linear.

O principal fator que pode explicar o aumento do GE em proporção à intensidade do treinamento é o padrão de recrutamento neuromuscular. De acordo com o padrão descrito pelo princípio do tamanho de Henneman, as unidades motoras de maior limiar de despolarização são progressivamente ativadas devido ao aumento da intensidade do exercício (Sale, 1987). Isto significa que, em contrações de baixa intensidade, o menor estímulo nervoso sobre os músculos tem intensidade suficiente apenas para despolarizar unidades motoras do tipo I. À medida em que a intensidade aumenta, o estímulo neural também é elevado e eventualmente se torna suficiente para despolarizar as fibras do tipo IIa e, finalmente, as fibras do tipo IIx. Estas unidades motoras são menos eficientes e promovem maior gasto energético na realização da mesma quantidade de trabalho muscular (BURD et al., 2012).

1.4.3 Conclusões sobre o GE do treinamento resistido

A calorimetria indireta é o método que apresenta melhor relação entre fidedignidade e praticidade para a determinação do GE do TR. Entretanto, para que sua utilização seja precisa é necessário que se tome alguns cuidados: determinar a taxa metabólica de repouso e descontar este valor do gasto bruto da sessão de treinamento, para que se tenha o verdadeiro GE aeróbio do exercício; determinar o GE no EPOC, visto que este é o principal componente e sua ausência leva à subestimação do GE; determinar o componente anaeróbio do treinamento por meio

da lactacidemia, para que não se tenha o GE subestimado e; utilizar o QR para a conversão correta do equivalente energético de cada litro de oxigênio consumido.

O conjunto de estudos demonstrados nesta revisão aponta para o fato de que, na mesma intensidade de treinamento, o GE é determinado pelo volume, ou seja, a quantidade de séries que se realiza em cada exercício. A densidade do treinamento não afeta esta relação. Desta forma, modelos de estudos que empregam apenas uma série de exercício são viáveis para extrapolação do GE de sessões de treino. A intensidade do treinamento, descrita em percentual de 1RM parece determinar o GE de maneira linear quando o GE é quantificado, principalmente, na unidade de KCal/repetição.

2. Justificativa do estudo

O interesse humano pela produção de calor remete à Grécia Antiga e a calorimetria é uma técnica de estudos que vem sendo empregada desde o século XVIII, nos primeiros experimentos de Lavoisier. A primeira calorimetria de que se tem registro foi indireta e nela foi observado que a realização de atividades leves promovia aumento do consumo de oxigênio para mais de 1 litro por minuto.

Na área da nutrição, Atwater baseou-se em estudos do século XIX sobre a produção calórica dos nutrientes e promoveu impressionantes avanços no intuito de educar a população sobre uma alimentação mais saudável. Já no âmbito clínico, destaca-se Benedict que utilizou aparatos portáteis para estudar a taxa metabólica de indivíduos de diferentes populações, idades e etnias, para estabelecer os parâmetros populacionais. Seu trabalho resultou em fórmulas de predição da TMB que, mesmo após mais de 100 anos de sua publicação, ainda são amplamente utilizadas. A partir destes parâmetros, a calorimetria ainda teve grande aplicação clínica na compreensão do efeito de diversas doenças sobre o metabolismo.

Apesar de todos estes avanços científicos, mesmo após mais de 200 anos de aplicação da primeira calorimetria com humanos e todas as possibilidades criadas pelas tecnologias desenvolvidas, em especial os aparatos portáteis, o GE dos exercícios resistidos ainda permanece, de certa forma, elusivo (MAGOSSO et al., 2017).

Conforme a seção anterior apontou, é possível retirar algumas conclusões a respeito da predominância energética das sessões de treinamento e sobre o papel de variáveis como intensidade, volume e densidade das sessões de treino. Entretanto, ainda persiste um desiderato: a literatura demonstra apenas comparações entre sessões e eventuais possibilidades para que se eleve o GE de uma sessão de treino, mas não demonstra qual será seu valor. Em outras palavras, é possível determinar, entre dois protocolos de treinamento, se e qual deles promoverá maior GE, mas sem possibilidade de estimar qual o GE de cada um. Sendo assim, este estudo foi delineado a partir da seguinte pergunta: é possível estabelecer um modelo de predição do GE em exercícios resistidos?

Passadas as eras de desenvolvimento da calorimetria e de grandes avanços nos âmbitos nutricional e clínico, chega o momento da compreensão definitiva do

seu uso no exercício. O conhecimento do GE dos exercícios é fundamental para a adequação nutricional de seus praticantes, pode ser utilizado para a prevenção do aumento ou para a perda de massa corporal, está relacionado à redução na mortalidade e deve ser empregado para cálculo de um déficit energético seguro. Desta forma, este estudo se justifica pela lacuna científica e pela necessidade de criação de modelos de predição do GE em exercícios resistidos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo geral

Quantificar e criar um modelo matemático para a predição do gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente ativos nos exercícios supino reto (SR) e leg press (LP).

3.2. Objetivos específicos

- Comparar o gasto energético (GE) aeróbio, anaeróbio láctico e total de homens e mulheres nos exercícios SR e LP nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM;
- Determinar a relação entre o trabalho total e o GE de homens e mulheres nos exercícios SR e LP nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM;
- Determinar a correlação do GE de homens e mulheres nos exercícios SR e LP com a intensidade do exercício;
- Comparar os modelos matemáticos desenvolvidos com o GE apresentado por homens e mulheres nos exercícios SR e LP.

A hipótese deste estudo é de que será possível encontrar um modelo de predição do GE de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press a partir da intensidade descrita em percentual de 1RM. A hipótese alternativa é de que a intensidade do esforço não exerce efeito sobre o GE de exercícios resistidos e não possibilitará a determinação de tal modelo preditivo.

4. Materiais e métodos

4.1. Aspectos éticos e legais da pesquisa

O presente estudo foi aprovado pelo comitê de ética em pesquisa com seres humanos da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, sob proposição do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde. O título público da pesquisa é “Gasto energético em exercícios resistidos”, sob número CAAE 59168316.8.0000.5504 e parecer substanciado do CEP nº 1.852.753, de 06 de dezembro de 2016 (Anexo 2). A seleção da amostragem foi feita por conveniência, dentre estudantes de graduação dos cursos de Educação Física e Fisioterapia, bem como alunos de pós-graduação do Departamento de Ciências Fisiológicas da UFSCar. Todos os dados da pesquisa foram coletados no laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCar. Todos os voluntários foram informados sobre os objetivos, bem como riscos e benefícios de sua participação no estudo e assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO 1).

4.2. Amostra

Segundo a recomendação para um poder amostral de 0,9 em nível padrão de α de 0,05 (Cohen, 1992), nossas análises revelaram que eram necessários 10 voluntários por grupo para efeito de 0,95 (poder da amostra de 0,929).

Desta forma, 11 homens (grupo masculino – GM), e 11 mulheres (grupo feminino – GF) foram recrutados para o estudo. As características antropométricas dos voluntários são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Características antropométricas dos voluntários

Parâmetro	Grupo masculino (n = 11)	Grupo feminino (n = 11)
Idade (anos)	28,7 ± 5,5	27,6 ± 4,6
Estatura (m)	1,77 ± 0,07	1,67 ± 0,06
Massa corporal (kg)	81,40 ± 8,17	60,05 ± 5,76
Gordura corporal (%)	16,36 ± 6,79	20,20 ± 2,73

Como critérios de inclusão, os indivíduos deveriam ter idade entre 18 e 35 anos, experiência mínima de 3 meses em treinamento resistido com a realização dos exercícios supino reto (SR) e leg press (LP) em seu programa de treinamento. Como critérios de exclusão foram adotados uso de esteroides anabólicos androgênicos nos seis meses que precederam o estudo, presença de alguma doença metabólica que pudesse alterar os resultados do estudo, presença de alguma patologia ou lesão que limitasse a execução total ou parcial dos exercícios e indivíduos fumantes devido às análises de trocas gasosas.

4.3. Desenho experimental

Para o estabelecimento de um modelo de predição do gasto energético (GE) de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press, cada voluntário se apresentou ao Laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCar em oito ocasiões: na primeira visita, os voluntários foram informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo, assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, os dados antropométricos mensurados e realizado o ajuste da biomecânica dos exercícios e teste de 1 repetição máxima (1RM) nos exercícios SR e LP. Na segunda visita, os voluntários foram submetidos ao reteste de 1RM e, caso houvesse uma variação maior que 5% entre os testes, uma terceira visita, não computada no total de oito, seria realizada. O intervalo respeitado entre as sessões de teste e reteste de 1RM foi de 48 a 72 horas.

Nas seis visitas seguintes, os voluntários foram submetidos ao protocolo de determinação do GE nas intensidades de 40%, 60% e 80% de 1RM, nos exercícios SR e LP, de maneira que apenas um exercício e uma intensidade eram realizados no mesmo dia (Figura 1). O intervalo respeitado para a realização do mesmo exercício foi de 48 a 72 horas. As seis sessões de determinação do GE foram realizadas de maneira aleatória e sempre no mesmo horário do dia para evitar interferências do ciclo circadiano. O ambiente tinha temperatura controlada entre 22 e 25°C e os voluntários foram orientados a manter os mesmos hábitos alimentares, evitarem o consumo de bebidas estimulantes e exercício físico nas 24 horas que antecederam as sessões de teste.

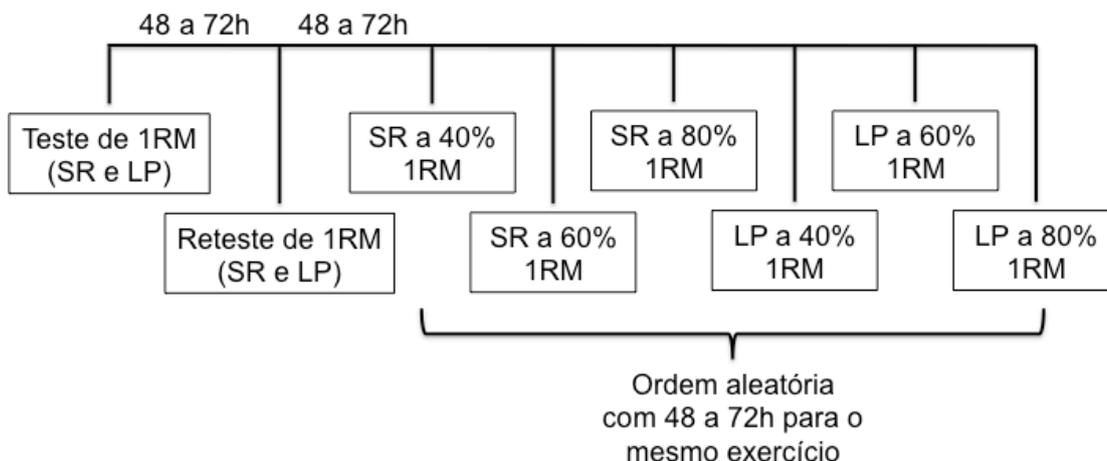


Figura 1. Desenho experimental do estudo. Fonte: próprio autor.

4.4. Procedimentos

4.4.1. Análises antropométricas

Para o procedimento das análises antropométricas, os indivíduos dos dois grupos foram orientados a comparecerem ao laboratório trajando roupas leves: short ou sunga no caso dos homens e short e top ou biquíni no caso das mulheres.

A estatura foi mensurada por meio de um estadiômetro da marca SECA® com precisão de 1mm, preso em uma parede a 2m de altura. Para a medida, os indivíduos permaneceram descalços, de costas para a parede e com olhar para o horizonte no plano de Frankfurt. Ao final de uma inspiração moderada, a haste do estadiômetro foi colocada no ponto mais alto da cabeça (vértex) e o indivíduo deu um passo à frente para que a leitura pudesse ser realizada (GUEDES, 2006).

A massa corporal foi determinada por uma balança da marca G-TECH® com precisão de 100g. A balança era acionada para ser ligada e quando o display demonstrava-se com 0,0kg, o indivíduo subia na balança com o olhar para frente até que a medida do peso era registrada. O indivíduo era orientado a descer da balança, cujo display mantinha registro da massa corporal por alguns segundos para que o avaliador pudesse anotá-lo. Esta medida era realizada com a menor quantidade de roupas possível na data da avaliação.

O percentual de gordura foi avaliado pelo protocolo de 7 dobras proposto por Jackson e Pollock (1978) para cálculo da densidade corporal (DC) que, em seguida, foi utilizada para cálculo do percentual de gordura pela fórmula de Siri (1956).

4.4.2. Padronização da mecânica de execução dos exercícios

Imediatamente antes do teste de 1RM, os voluntários realizaram a padronização da mecânica de execução dos exercícios SR e LP. Para tal, foi realizado um movimento apenas com a barra no SR e apenas com o carrinho no LP, com a determinação do final da fase excêntrica de movimento.

O exercício supino reto foi realizado em uma barra guiada (Reforce®), com duas hastes contendo uma polia cada. As hastes do equipamentos possuem um conjunto de travas bilaterais a cada 15cm para dar segurança ao movimento. A barra foi previamente pesada e tem massa de 8,8kg, desconsiderado o atrito. Juntamente à barra, foi utilizado um banco de comprimento de 112cm para o apoio dos voluntários (figura 2).



Figura 2. Barra guiada utilizada no exercício supino reto. Fonte: próprio autor.

Para a realização do exercício, os indivíduos permaneciam deitados no banco em decúbito dorsal, com os pés apoiados sobre o solo ou um step, de maneira que a coluna lombar ficasse posicionada confortavelmente e preferencialmente na mesma posição em que os voluntários estavam habituados a treinar. As mãos foram posicionadas na barra de maneira que os cotovelos permanecessem em ângulo de 90° e a barra deveria estar na direção dos mamilos, tanto para homens quanto para mulheres. O início do movimento era realizado com os cotovelos estendidos e a barra descia até tocar o peito, para que depois fosse retornada à posição inicial com a extensão dos cotovelos.



Figura 3. Padronização dos pontos inicial e final no exercício supino reto. Fonte: próprio autor.

O aparelho para a realização do exercício Leg Press é do tipo 45° (Reforce®), com carrinho de massa de 26kg, previamente determinada. O carrinho corre por um conjunto de hastes, devidamente lubrificadas para evitar efeitos de fricção contra o movimento e sem presença de polias (figura 4).



Figura 4. Leg Press 45° utilizado no estudo. Fonte: próprio autor.

Os indivíduos sentavam-se no aparelho e posicionavam os pés na largura do quadril, no ponto médio do carrinho. O movimento era iniciado com os joelhos estendidos e a fase excêntrica era realizada até que a articulação dos joelhos estivesse em 90°. Em seguida, o peso era erguido até que os joelhos estivessem estendidos.



Figura 5. Padronização dos pontos inicial e final no exercício leg press. Fonte: próprio autor.

Esta mecânica de movimento deveria ser respeitada tanto nas tentativas do teste de 1RM quanto nos protocolos de GE. Os voluntários tinham a marcação dos

seus pontos e um avaliador experiente acompanhava todas as repetições para assegurar de que a amplitude era respeitada.

4.4.3. Teste e reteste de 1 repetição máxima

Após a determinação da amplitude individual de movimento, os voluntários realizaram o aquecimento específico do teste, composto de uma série de 8 repetições a 50% de 1RM estimada seguida de uma série de 3 repetições a 70% de 1RM estimada. A estimativa foi realizada a partir da experiência dos voluntários e pelo seu peso corporal (MARSOLA et al., 2011). Mais três a cinco levantamentos simples, com início na fase excêntrica, foram feitos para se encontrar o valor de 1RM com pelo menos um peso que não pudesse ser erguido pelo avaliado para assegurar que o valor verdadeiro fosse encontrado. Durante as tentativas um avaliador experiente foi responsável por verificar a manutenção da mecânica do movimento. Todas as padronizações dos exercícios seguiram as recomendações preconizadas por Brown e Weir (2001). Com intervalo de 48 a 72 horas, os indivíduos realizaram o reteste de 1RM para a confirmação do valor. Caso a variação entre os dois testes fosse maior que 5%, o voluntário deveria realizar um terceiro teste. O valor considerado de 1RM foi o maior atingido entre os testes.

4.4.4. Cálculo dos pesos e determinação do percentual real de 1RM durante os protocolos

Conforme descrito anteriormente, o leg press utilizado neste estudo tem um carrinho de massa de 26kg e a barra do supino reto tem massa de 8,8kg. O Laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCar possui anilhas com massa mínima de 0,5kg. Desta forma, o peso total com que os exercícios foram executados era o mais próximo possível das três intensidades propostas pelo estudo. O percentual utilizado nos exercícios foi denominado de “percentual real” e este valor foi incluído nos métodos de regressão para mitigar quaisquer interferências desta diferença. O cálculo percentual foi realizado através da seguinte fórmula:

$$\text{Percentual real} = \frac{\text{peso do teste}}{1RM} \times 100$$

4.4.5. Protocolos de determinação do GE

Após a determinação do valor de 1RM nos exercícios LP e SR, os voluntários foram submetidos, de maneira aleatória, a mais seis protocolos de determinação do GE, sendo três deles no SR e outros três no LP. Em cada um dos exercícios, foram realizados protocolos a 40%, 60% e 80% de 1RM.

Os protocolos foram realizados com a quantificação do GE aeróbio e anaeróbio láctico. Para a determinação do componente aeróbio do GE, foi utilizado um analisador portátil de gases VO2000 (Medgraphics®), previamente calibrado de acordo com as instruções do fabricante. Ao rosto dos indivíduos foi colocada uma máscara e quando necessário, um elástico era atado para garantir que não houvesse vazamento de ar. O fluxo ventilatório foi determinado por um pneumotacógrafo de fluxo baixo, adequado para medida em repouso e picos de fluxo entre 30 e 70 litros por minuto. Estudos prévios em nosso laboratório demonstraram que o valor ventilatório nestes protocolos não ultrapassava o valor de 50 litros por minuto (MAGOSSO et al., 2013). A coleta de dados foi realizada por meio do software Aerograph®, com valores médios a cada 20 segundos. O cálculo do componente aeróbio do GE foi realizado pelo software, que considera o QR para a determinação do equivalente energético de cada litro de oxigênio consumido.

Após a colocação da máscara e início na análise de gases, os indivíduos permaneciam em repouso no aparelho durante 10 minutos para ajustes ventilatórios (ALIASGHARZADEH et al., 2015). Neste período, o software ainda não realizava o registro dos dados. Dado o período de ajuste ventilatório, o registro de dados era iniciado e o avaliado permanecia mais cinco minutos em repouso, para determinação do GE de repouso (GE_{rep}). Passado o período de repouso, era realizada uma série máxima na intensidade de 40%, 60% ou 80% de 1RM, conforme sorteio. Durante a execução da série, um avaliador experiente verificava a mecânica de execução do movimento e instruía os voluntários para que cada repetição fosse realizada com duração de cerca de 3 segundos. Quando os voluntários estavam próximos à falha concêntrica este tempo não podia ser mantido devido à redução não intencional da velocidade promovida pela fadiga muscular. Os voluntários recebiam estímulos verbais para que realizassem o maior número possível de repetições sem que alterassem a mecânica de movimento nos exercícios. Esta quantidade foi determinada como o número máximo de repetições (NMR) e o

produto das repetições pelo peso levantado foi usado para o cálculo do trabalho total (TT), de acordo com a equação abaixo:

$$\text{Trabalho total(kg)} = \text{peso (kg)} \times \text{NMR}$$

Após a realização da série única de exercício, os voluntários permaneceram no aparelho, na mesma posição em que estiveram no período de repouso, para que o consumo de oxigênio retornasse aos valores de repouso. A coleta de dados respiratórios prosseguiu até que os valores de ventilação e consumo de oxigênio retornassem ao repouso e se estabilizassem por mais dois minutos.

O componente aeróbio foi separado em GE_{rep}, GE total e GE do exercício (GEE). O GE_{rep} foi calculado como a média do GE nos cinco minutos de repouso, em total de 15 pontos de análise. Este valor foi, em seguida, multiplicado pela duração total do período de coleta para extrapolar o GE referente ao protocolo (figura 6); O GE total aeróbio (GET_a) foi apresentado pelo software como o GE desde o início do registro de dados até o término do protocolo; o GEE foi determinado pela subtração do GE_{rep} do período todo de coleta do GET, de acordo com a seguinte fórmula:

$$\text{GEE (KCal)} = \text{GET} - (\text{GE}_{\text{rep}} \times \text{duração do protocolo}[\text{min}])$$

Consumo de oxigênio (VO_2)

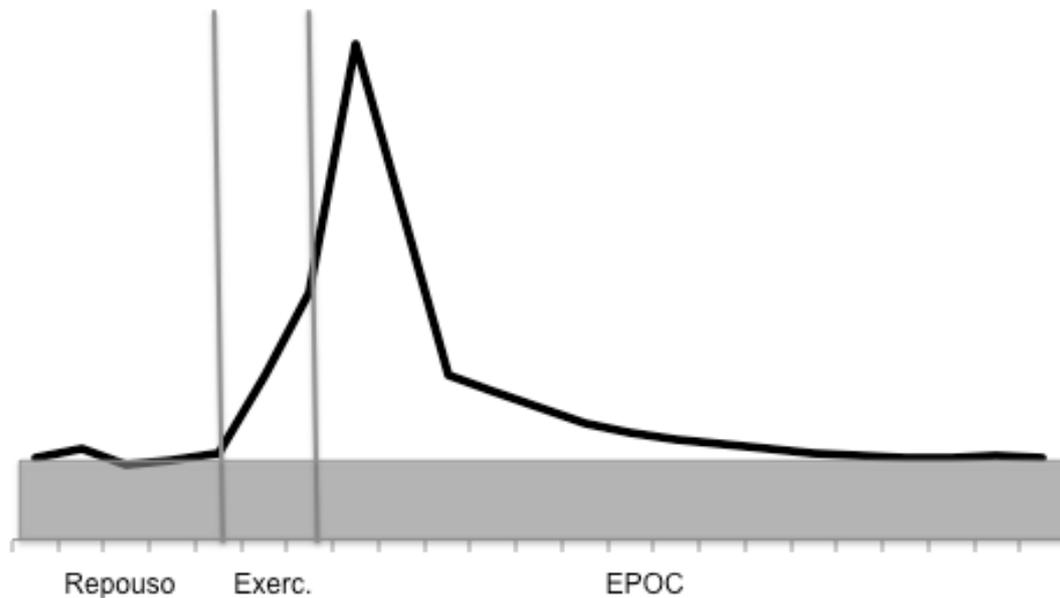


Figura 6. Reprodução didática do consumo de oxigênio. O valor médio do repouso (área cinza) foi extrapolado para a duração do protocolo e retirado dos dados. O valor resultante foi considerado como gasto energético do exercício. Fonte: próprio autor.

Para a análise do componente anaeróbio láctico, em cada protocolo, foram realizadas 7 coletas de sangue para posterior análise da lactacidemia. As coletas de sangue foram realizadas por meio de punção no lóbulo da orelha, devidamente assepsiado, com lancetas descartáveis de uso único e individual. Após a punção, a primeira gota era descartada para evitar qualquer tipo de contaminação da amostra que influenciasse na concentração de lactato sanguíneo. As coletas de 25 μ L de sangue capilarizado do lóbulo da orelha foram realizadas antes da realização da série (pré) e 3, 6, 9, 12, 15 e 30 minutos após a realização da série de exercício, para determinação do valor pico e análise da cinética da lactacidemia. Estas amostras foram coletadas em capilares previamente calibrados e colocadas em tubos Eppendorf contendo 50 μ L de solução de fluoreto de sódio a 1%, que inibe a ação da enzima enolase para interromper o fluxo da via glicolítica e promove hemólise, garantindo que a quantidade de lactato determinada é a mesma do momento da coleta. Em seguida, as amostras foram congeladas para posterior análise com lactímetro enzimático YSI-1500 SPORT (Yellow Springs®). Para análise no lactímetro, foi utilizada solução padrão de calibração de 5mmol/L de lactato. O

aparelho era considerado calibrado quando a solução padrão resultava em análise de 4,9 a 5,1 mmol/L, considerando, portanto, variação máxima de 2%. Durante as análises, o equipamento era recalibrado a cada 10 amostras para garantir a precisão na análise das amostras.

Foi considerado como valor pico o maior valor na recuperação e utilizado para o cálculo do componente anaeróbio láctico (GEan), de acordo com a conversão proposta por Margaria (1933) e di Prampero e Ferreti (1999), onde a variação de 1mmol/l na lactacidemia para cada kg de massa corporal corresponde ao consumo de 3mL de oxigênio. Desta forma, foi calculada a variação da lactacidemia entre o repouso e o pico para inclusão na fórmula. Por ser advindo exclusivamente do uso de glicose, cada litro de oxigênio consumido corresponde a um equivalente energético de 5,05KCal. A equação abaixo representa o cálculo do componente anaeróbio láctico:

$$GE_{an} \text{ (KCal)} = \Delta[\text{lac}] \times \text{massa corporal(kg)} \times 0,003 \times 5,05$$

Onde $\Delta[\text{lac}]$ corresponde à variação da lactacidemia entre repouso e pico, a massa corporal é dada em kg, o valor de 0,003 corresponde à conversão de 3mL de oxigênio em litros e 5,05 é o equivalente energético do consumo de oxigênio quando apenas carboidratos são metabolizados. A figura 7 representa as etapas de cada protocolo de determinação do gasto energético do exercício:

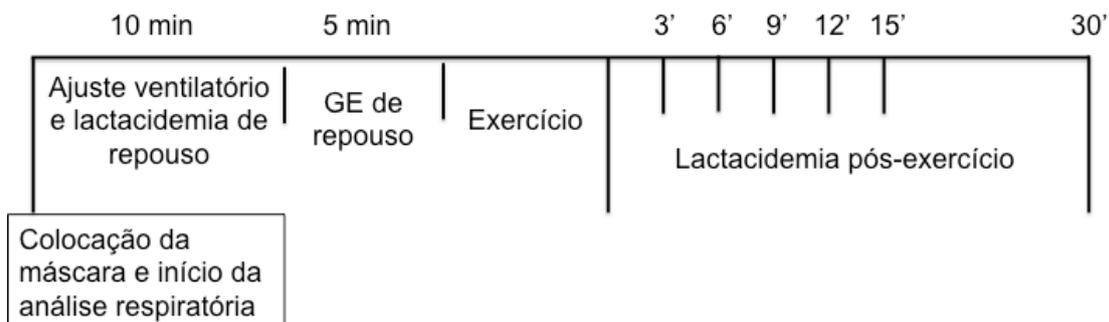


Figura 7. Sequência de eventos nos testes de determinação do gasto energético. Fonte: próprio autor.

4.4.6. Formas de cálculo do gasto energético do exercício

Após a determinação dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico e a retirada do consumo médio de repouso, foi quantificado o gasto energético do exercício, para que pudesse ser analisado de 3 diferentes formas.

- Valor absoluto: representante da quantidade total de quilocalorias (KCal), pela soma do GEa e do GEan, de acordo com a equação:

$$\text{GEE (KCal)} = \text{GEa} + \text{GEan}$$

- No gasto energético correspondente ao levantamento de uma tonelada (KCal/t), que representa a eficiência mecânica de cada exercício e intensidade, por meio da divisão do GEE pelo trabalho total, de acordo com a equação:

$$\text{GE (KCal/t)} = \frac{\text{GEE (KCal)}}{\text{Trabalho total (kg)}} \times 1000$$

- Na relação com a quantidade de repetições (KCal/rep), para posterior utilização em modelo de predição do GE, em que o GEE foi dividido pelo NMR, de acordo com a equação:

$$\text{GE (KCal/rep)} = \frac{\text{GEE (KCal)}}{\text{NMR}}$$

4.5. Análise estatística

Os dados são representados por estatística descritiva (média \pm desvio padrão). Os valores do número máximo de repetições foram analisados por meio do teste ANOVA two-way com interação de gênero e exercício. Todos os dados apresentaram normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Os valores do trabalho total foram analisados por ANOVA two-way com interação de sexo e intensidade. Para análise do gasto energético, nas formas de gasto energético do exercício, quantidade de quilocalorias por tonelada e quantidade de calorias por

repetição foram analisados por ANOVA three-way com interação de exercício e intensidade e post-hoc de Tukey quando necessário. Para todas estas análises foi utilizado como significativo o valor de p menor que 0,05 ($p < 0,05$). Para o estabelecimento do modelo de predição do gasto energético foi aplicado o modelo linear e o valor de r^2 utilizado como demonstrativo do tamanho do efeito. Em seguida, os quatro modelos apresentados foram testados com o método de Bland-Altman para determinação do viés e intervalo de confiança. Todos os dados foram analisados com o software Prism® versão 7.

5. Resultados

5.1. Valor de 1 repetição máxima e percentuais utilizados nos testes

O grupo masculino (GM; n = 11) teve, como valor (média \pm desvio padrão) de 1 repetição máxima (1RM), no exercício supino reto (SR), $86,3 \pm 16,3$ kg e, no exercício leg press (LP), o valor de $382,7 \pm 72,0$. O grupo feminino (GF; n = 11) teve, como valor de 1RM, no exercício SR, $37,1 \pm 6,8$ kg e, no exercício LP, o valor de $290,0 \pm 47,3$.

Os testes de 1RM no exercício supino reto foram realizados com a precisão de 1kg. Dado o peso de 8,8kg da barra guiada, foram escolhidos os pesos que mais se aproximavam de 40, 60 e 80% de 1RM. Desta forma, na série a 40% de 1RM, o percentual real foi de $40,01 \pm 0,45\%$ de 1RM para o GM e de $39,69 \pm 0,87\%$ de 1RM para o GF. Na intensidade de 60% de 1RM, o percentual real do GM foi de $59,87 \pm 0,37\%$ de 1RM para o GM e de $59,76 \pm 0,89$ para o GF. Na intensidade de 80% de 1RM, o percentual real foi de $79,85 \pm 0,35$ para o GM e de $79,63 \pm 0,59$ para o GF. Estes valores do percentual real foram considerados nos modelos de regressão utilizados para a predição de 1RM e também para todas as análises de gasto energético. Entretanto, são utilizados os percentuais de 40, 60 e 80% de 1RM como valores nominais durante o trabalho.

No exercício Leg Press, os testes foram realizados com precisão de 5kg. Desta forma, foi possível adequar o peso exato para os percentuais selecionados de 40, 60 e 80% de 1RM do presente estudo.

5.2. Número máximo de repetições e relação com percentual de 1RM

Os valores do número máximo de repetições (NMR) de homens e mulheres nos exercícios SR e LP são apresentados nas Tabelas 2 e 3.

Na comparação do efeito do exercício, o NMR foi significativamente superior no exercício LP comparado ao exercício SR nas três intensidades testadas e em ambos os grupos. Não foram encontradas diferenças significativas entre os grupos em nenhum dos dois exercícios testados.

Tabela 2 – valor do número máximo de repetições do grupo masculino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM.

Exercício	Supino reto			Leg press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
% 1RM						
Média	33,6	16,7	7,9	62,2*	28,7*	14,8*
DP	9,0	3,0	2,3	28,0	8,3	3,0
Máximo	50	20	11	113	50	18
Mínimo	24	12	5	30	18	8

Total de 11 voluntários. DP = desvio padrão. *indica diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) para o exercício supino reto.

Tabela 3 – valor do número máximo de repetições do grupo feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM.

Exercício	Supino reto			Leg press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
% 1RM						
Média	35,5	17,5	8,1	58,8*	29,3*	14,1*
DP	6,6	2,3	1,1	23,2	8,5	4,1
Máximo	49	22	10	104	45	19
Mínimo	27	15	6	26	16	8

Total de 11 voluntárias. DP = desvio padrão. *indica diferença estatisticamente significativa ($p \leq 0,05$) para o exercício supino reto.

5.3. Trabalho total

O trabalho total (TT) foi calculado pelo produto do peso correspondente a cada percentual de 1RM pelo NMR realizado nesta intensidade e está apresentado na Tabela 4.

A comparação entre as intensidades demonstrou que, no GM, para ambos os exercícios, o TT foi significativamente superior na intensidade de 40% de 1RM comparada às intensidades de 60 e 80% de 1RM ($p < 0,05$) e que, no exercício SR, na intensidade de 60% de 1RM, o TT foi significativamente superior ($p < 0,05$) à intensidade de 80% de 1RM. No GF, houve diferença significativa no exercício SR entre a intensidade de 80% de 1RM quando comparada às intensidades de 40 e

60% de 1RM ($p < 0,05$) e, no exercício LP, houve diferença significativa apenas entre as intensidades de 40 e 80% de 1RM. Na comparação entre os grupos, o GM realizou maior TT ($p < 0,05$) nas três intensidades no exercício SR e na intensidade de 40% de 1RM no exercício LP, conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4 – trabalho total (kg) dos grupos masculino e feminino nos exercícios supino reto e leg press

% 1RM	Supino reto			Leg press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
GM	1167,8 ± 395,9*	864,3 ± 224,1 ^a	544,6 ± 180,8 ^{a,b}	9847,6 ± 5323,2*	6681,0 ± 2497,7 ^a	4563,3 ± 1305,0 ^a
GF	529,3 ± 164,1	393,3 ± 119,4	237,6 ± 48,4 ^{a,b}	7035,5 ± 3715,2	5208,6 ± 2185,2	3347,6 ± 1411,2 ^a

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11). Trabalho total representado na unidade de quilogramas (kg). *diferença significativa comparado ao GF na mesma intensidade e exercício; ^adiferença significativa comparado à intensidade de 40% de 1RM; ^bdiferença significativa comparado à intensidade de 60% de 1RM. Análise realizada com ANOVA two-way.

5.4. Lactacidemia

A lactacidemia foi quantificada no repouso e nos momentos de 3, 6, 9, 12, 15 e 30 minutos após a série de exercício. Para posterior quantificação do componente anaeróbio do GE, foram considerados a lactacidemia de repouso, o valor pico e a variação da lactacidemia (Δlac). Os valores foram comparados por ANOVA three-way, com efeito de exercício, intensidade e grupo. O único efeito encontrado foi entre os grupos para o exercício supino reto, onde os homens tiveram Δlac significativamente superior ao das mulheres nas intensidades de 40 e 80% de 1RM.

Tabela 5 – lactacidemia de repouso, valor pico e variação da lactacidemia dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.

	Supino Reto			Leg Press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Grupo Masculino						
Repouso	0,98 ± 0,57	0,92 ± 0,46	0,84 ± 0,56	0,73 ± 0,36	0,81 ± 0,39	0,67 ± 0,37
Pico	4,85 ± 1,60	4,16 ± 1,24	3,66 ± 1,66	4,56 ± 1,81	4,82 ± 2,27	4,26 ± 1,71
Δlac	3,86 ± 1,65 ^a	3,23 ± 0,99	2,82 ± 1,31 ^a	3,82 ± 1,73	4,29 ± 2,21	3,59 ± 1,43
Grupo Feminino						
Repouso	0,85 ± 0,50	0,88 ± 0,53	0,68 ± 0,44	0,79 ± 0,38	0,75 ± 0,40	0,94 ± 0,49
Pico	2,34 ± 1,00	2,51 ± 1,03	1,65 ± 0,66	3,69 ± 0,85	4,03 ± 1,05	3,73 ± 1,31
Δlac	1,49 ± 0,59	1,63 ± 0,77	0,97 ± 0,38	2,90 ± 0,71	3,28 ± 1,13	2,79 ± 1,09

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11). Lactacidemia apresentada em mmol/L.

^adiferença significativa comparado ao GF na mesma intensidade e exercício; Análise realizada com ANOVA three-way.

5.5. Gasto energético do exercício

5.5.1. Gasto energético anaeróbio láctico

A partir da variação na lactacidemia e sua relação com a massa corporal, foi calculado o gasto energético anaeróbio láctico (GEAn) de cada série de exercício, em valor total (KCal) e por repetição (KCal/rep), conforme apresentado na Tabela 6.

Quando o GEAn foi quantificado no seu valor total (KCal), foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas na comparação entre o GM e o GF no exercício supino reto, onde o GM teve GEAn significativamente maior nas três intensidades testadas.

Na unidade de KCal/rep, a comparação entre os grupos revelou que os homens tiveram GEAn superior ao das mulheres ($p < 0,05$) nas intensidades de 60 e

80% de 1RM no exercício supino reto. A comparação entre exercícios foi significativa ($p < 0,05$) apenas para os homens na intensidade de 80% de 1RM, onde o GEAn foi superior no exercício supino reto. Já na comparação entre as intensidades, o GM teve GEAn (KCal/rep), nos dois exercícios, na intensidade de 80% de 1RM comparada às intensidades de 40 e 60% de 1RM. As mulheres tiveram, no supino reto, maior GEAn (KCal/rep) na intensidade de 80% de 1RM comparada às intensidades de 40 e 60% de 1RM ($p < 0,05$) e, no leg press, na intensidade de 80% comparada à intensidade de 40% de 1RM ($p < 0,05$).

Tabela 6 – gasto energético anaeróbio láctico (GEAn) total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino ($n = 11$) e feminino ($n = 11$) nos exercícios supino reto e leg press.

	Supino Reto			Leg Press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Grupo Masculino						
KCal	4,77 ±	3,97 ±	3,47 ±	4,72 ±	5,01 ±	4,44 ±
	2,09 ^a	1,13 ^a	1,50 ^a	2,21	3,05	1,88
KCal/rep	0,14 ±	0,25 ±	0,46 ±	0,08 ±	0,17 ±	0,31 ±
	0,05 ^c	0,09 ^{a,c}	0,22 ^a	0,03	0,07	0,14 ^b
Grupo Feminino						
KCal	1,34 ±	1,09 ±	0,88 ±	2,63 ±	2,99 ±	2,56 ±
	0,49	0,48	0,34	0,65	1,12	1,03
KCal/rep	0,04 ±	0,06 ±	0,11 ±	0,05 ±	0,10 ±	0,19 ±
	0,02 ^c	0,03 ^c	0,05	0,01 ^c	0,04	0,07

GM: grupo masculino ($n = 11$); GF: grupo feminino ($n = 11$) ^adiferença significativa comparado ao GF na mesma intensidade e exercício; ^bdiferença significativa entre exercícios no mesmo percentual de 1RM; ^cdiferença significativa para 80% de 1RM no mesmo exercício; Análise realizada com ANOVA three-way.

5.5.2. Gasto energético aeróbio

O gasto energético aeróbio (GEAe) de cada série foi calculado com base no consumo de oxigênio durante as séries e na recuperação, subtraído pela extrapolação do repouso, portanto, representa apenas o GE imposto pelo exercício.

Os valores do GEAE, em gasto total (KCal) e por repetição (KCal/rep) são apresentados na Tabela 7.

Em relação ao valor do GEAE, medido em gasto total (KCal), na comparação entre grupos, os homens tiveram GEAE superior ($p < 0,05$) na intensidade de 40% no exercício leg press. A comparação entre exercícios revelou que houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) nas três intensidades testadas para o grupo masculino e nas intensidades de 40 e 60% de 1RM para o grupo feminino. O efeito da intensidade foi observado apenas no exercício leg press, onde tanto o grupo masculino como o grupo feminino apresentaram maior GEAE (KCal), no exercício leg press, na intensidade de 80% comparada a 40% de 1RM ($p < 0,05$).

Quando o GEAE foi analisado em calorias por repetição (KCal/rep), a comparação entre homens e mulheres revelou que, no exercício supino reto, os homens apresentaram maior gasto energético ($p < 0,05$) que as mulheres em todas as intensidades, no exercício supino reto e nas intensidades de 60 e 80% de 1RM no exercício Leg Press. Na comparação entre exercícios, não houve diferenças significativas entre o GEAE no grupo masculino e, no grupo feminino, o GEAE foi significativamente superior ($p < 0,05$) no exercício leg press nas três intensidades. Em relação à comparação da intensidade de cada exercício, para o grupo masculino, em ambos os exercícios, a intensidade de 60% de 1RM teve GEAE significativamente superior ($p < 0,05$) à intensidade de 40% de 1RM e a intensidade de 80% de 1RM foi significativamente superior ($p < 0,05$) às intensidades de 40 e 60% de 1RM. Para o grupo feminino, no exercício supino reto houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as intensidades de 40 e 80% de 1RM e, no exercício leg press, a intensidade de 80% de 1RM foi significativamente superior ($p < 0,05$) às intensidades de 40 e 60% de 1RM.

Tabela 7 – gasto energético aeróbio (GEAe) total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.

	Supino Reto			Leg Press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Grupo Masculino						
KCal	13,93 ± 4,72 ^a	12,81 ± 2,15 ^{a,c}	9,53 ± 2,50 ^{a,c}	28,83 ± 14,09	22,53 ± 8,87 ^{a,c}	18,83 ± 4,40 ^{a,c}
KCal/rep	0,41 ± 0,09 ^c	0,80 ± 0,08 ^{a,c}	1,23 ± 0,12 ^a	0,46 ± 0,06	0,78 ± 0,19	1,28 ± 0,18 ^b
Grupo Feminino						
KCal	5,12 ± 1,73	4,41 ± 1,12	2,91 ± 0,49	19,37 ± 9,11	14,07 ± 6,10	10,25 ± 4,37 ^c
KCal/rep	0,14 ± 0,04 ^b	0,25 ± 0,06 ^b	0,36 ± 0,04 ^b	0,33 ± 0,07 ^c	0,47 ± 0,11	0,74 ± 0,19

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11) ^adiferença significativa comparado ao GF na mesma intensidade e exercício; ^bdiferença significativa entre exercícios no mesmo percentual de 1RM; ^cdiferença significativa para 40% de 1RM no mesmo exercício; ^ddiferença significativa para 60% de 1RM no mesmo exercício. Análise realizada com ANOVA three-way.

5.5.3. Gasto energético total e ergogênese

A partir dos componentes anaeróbio láctico e aeróbio, foi calculado o gasto energético total (GET) de cada série de exercício e a participação percentual de cada um dos componentes metabólicos para determinação da ergogênese. Estes valores são apresentados na Tabela 8.

Em relação ao GET, na unidade de KCal, na comparação entre os grupos, os homens obtiveram maior GET ($p < 0,05$) nas intensidades de 40 e 60% de 1RM no exercício supino reto e nas três intensidades do leg press. Entre os exercícios, o GM obteve maior GET ($p < 0,05$) no exercício leg press comparado ao supino reto nas três intensidades e o GF obteve maior GET no leg press comparado ao supino reto ($p < 0,05$) nas intensidades de 40 e 60% de 1RM. Nenhum efeito da intensidade foi encontrado nos dois grupos.

Quando o GET foi analisado em KCal/rep, os homens obtiveram GET significativamente superior ao das mulheres ($p < 0,05$) nas três intensidades no

exercício supino reto e nas intensidades de 60 e 80% de 1RM no leg press. Na comparação entre exercícios, foi encontrada diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para o GF nas intensidades de 60 e 80% de 1RM. Na comparação do efeito da intensidade, o GM apresentou maior GET ($p < 0,05$) na intensidade de 80% de 1RM comparada às intensidades de 40 e 60% de 1RM e na intensidade de 60% de 1RM comparada à intensidade de 40% de 1RM nos dois exercícios. O GF teve, no exercício supino reto, maior GET ($p < 0,05$) na intensidade de 80% comparada a 40% de 1RM e, no leg press, na intensidade de 80% de 1RM comparada às intensidades de 40 e 60% de 1RM.

Tabela 8 – gasto energético total (KCal) e por repetição (KCal/rep) dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press.

	Supino Reto			Leg Press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Grupo Masculino						
KCal	18,70 ± 6,37 ^{a,b}	16,78 ± 2,69 ^{a,b,c}	12,79 ± 3,43 ^b	33,15 ± 15,81 ^a	27,54 ± 11,31 ^{a,c}	23,27 ± 4,77 ^{a,c}
KCal/rep	0,56 ± 0,13 ^{a,c}	1,04 ± 0,14 ^{a,c}	1,69 ± 0,25 ^{a,c,d}	0,54 ± 0,08	0,95 ± 0,22 ^{a,c}	1,59 ± 0,22 ^{a,c,d}
Grupo Feminino						
KCal	6,46 ± 1,70	5,50 ± 1,25 ^b	3,78 ± 0,69 ^b	22,00 ± 9,53	17,05 ± 6,68	12,81 ± 5,13 ^c
KCal/rep	0,18 ± 0,04 ^b	0,32 ± 0,06 ^b	0,47 ± 0,07 ^{b,c}	0,38 ± 0,07	0,58 ± 0,12	0,93 ± 0,23 ^{c,d}

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11) ^adiferença significativa comparado ao GF na mesma intensidade e exercício; ^bdiferença significativa entre exercícios no mesmo percentual de 1RM; ^cdiferença significativa para 40% de 1RM no mesmo exercício; ^ddiferença significativa para 60% de 1RM no mesmo exercício. Análise realizada com ANOVA three-way.

Em relação à participação dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico para a produção de energia, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas na intensidade de 40% de 1RM, onde a participação tanto aeróbio quanto anaeróbia láctica foi diferente entre os exercícios supino reto e leg press no grupo masculino. Os

valores percentuais da participação de cada componente são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Participação dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico na produção de energia dos grupos masculino (n = 11) e feminino (n = 11) nos exercícios supino reto e leg press

	Supino reto			Leg press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
Grupo masculino						
% aeróbio	75,1 ±	77,0 ±	73,7 ±	85,5 ±	82,4 ±	80,9 ±
	5,5	6,3	10,1	3,7 ^a	6,5	7,1
% anaeróbio láctico	24,9 ±	23,0 ±	26,7 ±	14,5 ±	17,6 ±	19,1 ±
	5,5	6,3	10,1	3,7 ^a	6,5	7,1
Grupo feminino						
% aeróbio	78,3 ±	80,1 ±	77,2 ±	87,1 ±	81,8 ±	79,9 ±
	9,3	7,3	6,9	3,5	6,4	5,1
% anaeróbio láctico	21,7 ±	19,9 ±	22,8 ±	12,9 ±	18,2 ±	20,1 ±
	9,3	7,3	6,9	3,5	6,4	5,1

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11) ^adiferença significativa comparado ao supino reto na mesma intensidade e grupo; Análise realizada com ANOVA three-way.

5.5.4. Relação entre gasto energético e trabalho total

O GE foi dividido pelo trabalho total para o cálculo da quantidade de energia necessária para 1 tonelada de trabalho (KCal/t), como medida da eficiência mecânica de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press. Os valores são apresentados na Tabela 10.

Na comparação entre os grupos, os homens apresentaram maior custo de levantamento por tonelada que as mulheres no exercício supino reto a 60 e 80% de 1RM. NA comparação entre exercícios, foi encontrado maior gasto energético no leg press comparado ao supino reto em todas as intensidades e em ambos os grupos. Em relação à intensidade, para o grupo masculino, no exercício supino reto, o gasto energético por tonelada a 80% de 1RM foi significativamente superior ($p < 0,05$) às intensidades de 40 e 60% de 1RM e a intensidade de 60% foi superior à de 40% de 1RM. Já o grupo feminino não apresentou diferença significativa entre as

intensidades no exercício supino reto. No leg press não foram encontradas diferenças significativas entre as intensidades tanto para o grupo masculino quanto para o grupo feminino.

Tabela 10 – gasto energético para 1000kg de trabalho total (KCal/t) dos grupos masculino e feminino nos exercícios supino reto e leg press

% 1RM	Supino reto			Leg press		
	40%	60%	80%	40%	60%	80%
GM	16,12 ±	20,29 ±	24,65 ±	3,58 ±	4,13 ±	5,34 ±
	2,26*	4,39 ^a	5,30 ^{a,b}	0,63	0,72	1,18
GF	12,51 ±	14,64 ±	16,21 ±	3,33 ±	3,35 ±	4,03 ±
	2,02*	4,05*	2,79*	0,64	0,61	1,02

GM: grupo masculino (n = 11); GF: grupo feminino (n = 11). Trabalho total representado na unidade de quilogramas (kg). *diferença estatisticamente significativa para o exercício leg press no mesmo percentual de uma repetição máxima; ^adiferença significativa comparado à intensidade de 40% de 1RM; ^bdiferença significativa comparado à intensidade de 60% de 1RM. Análise realizada com ANOVA two-way.

5.6. Modelos de predição do gasto energético

A partir dos resultados obtidos do GET, foi realizada a regressão linear para determinar um modelo de predição do GE em função da intensidade do exercício, determinada como percentual de 1RM. A figura 8 (A a D) demonstra a regressão linear dos grupos masculino e feminino nos dois exercícios.

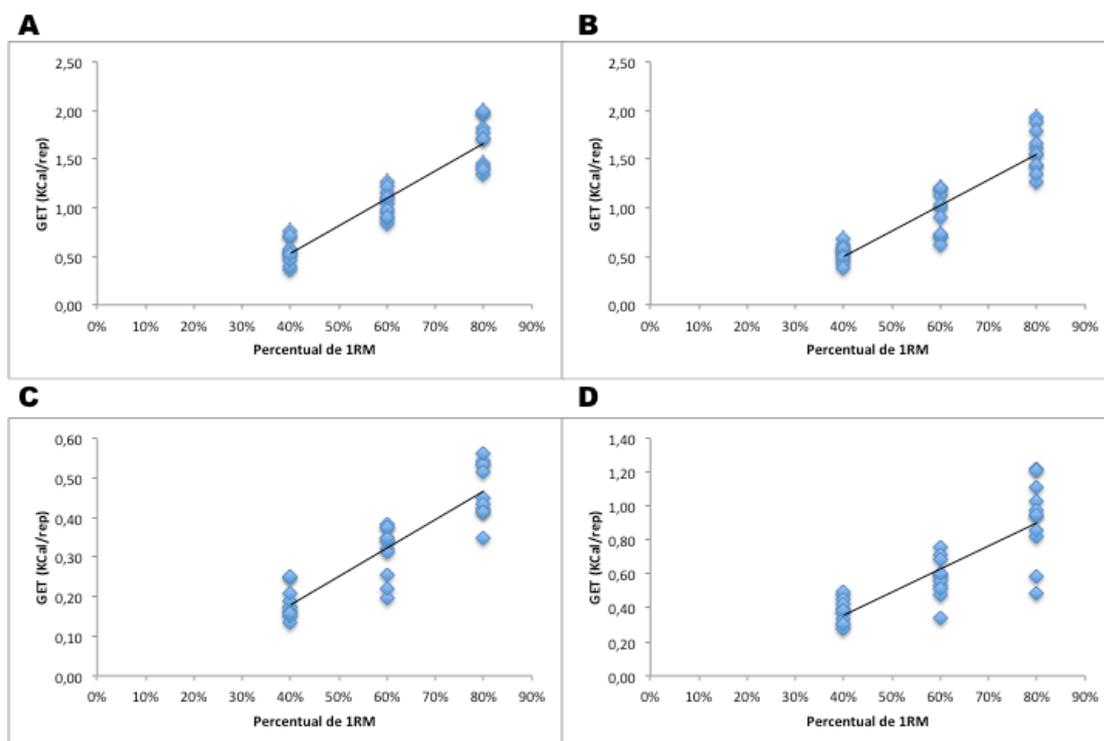


Figura 8. Regressão linear do gasto energético total (GET), quantificado em quilocalorias por repetição (KCal/rep). A – grupo masculino no exercício supino reto; B – grupo masculino no exercício leg press; C – grupo feminino no exercício supino reto; D – grupo feminino no exercício leg press. Fonte: autoria própria.

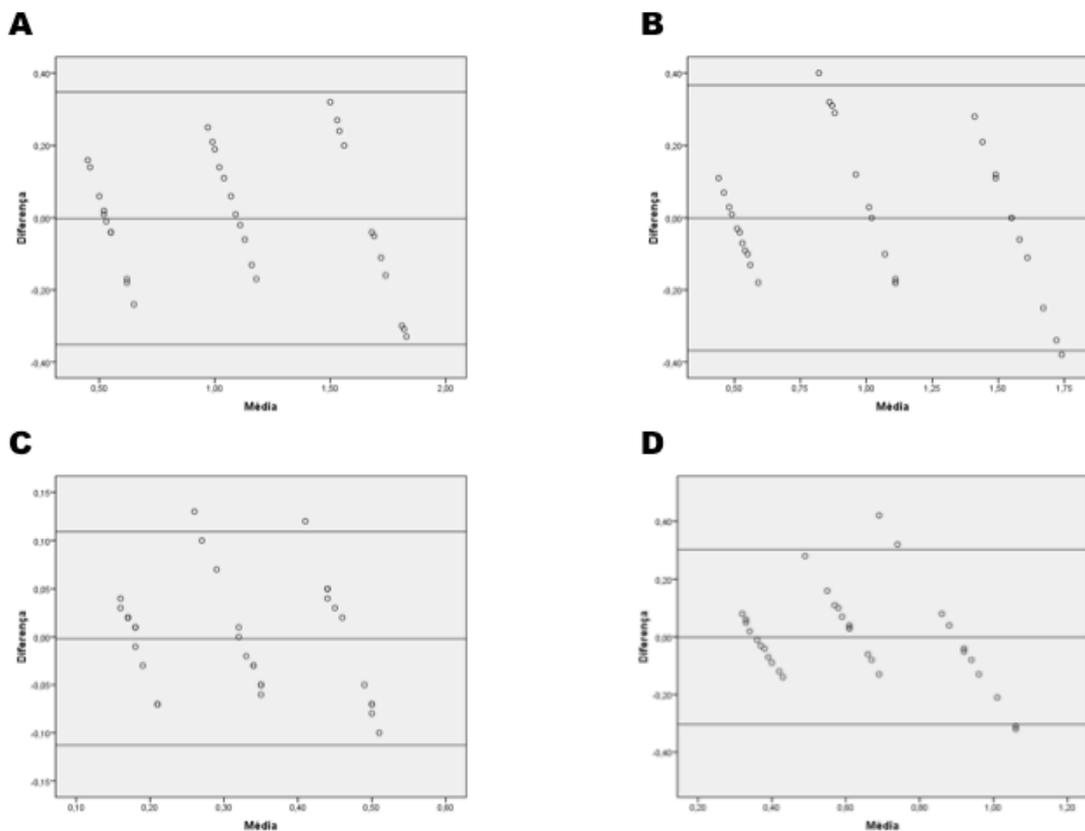
A Tabela 11 representa as equações geradas para cada um dos grupos e exercícios testados, bem como o valor de r^2 encontrado no modelo de regressão linear.

Tabela 11 – modelos de predição do GE em função do percentual de 1RM dos grupos masculino ($n = 11$) e feminino ($n = 11$) nos exercícios supino reto e leg press.

Grupo/exercício	Equação	r^2
GM – supino reto	$GE = 2,831(\%1RM) - 0,6036$	0,874
GM – leg press	$GE = 2,6332(\%1RM) - 0,5572$	0,842
GF – supino reto	$GE = 0,7185(\%1RM) - 0,1086$	0,809
GF – leg press	$GE = 1,3601(\%1RM) - 0,1874$	0,678

GM – grupo masculino; GF – grupo feminino; GE – gasto energético na unidade de KCal/rep; %1RM – percentual de 1 repetição máxima.

Após a determinação do modelo de predição do GE em função do percentual de 1RM, foi aplicado o modelo de Bland-Altman para a determinação do erro associado ao modelo, conforme demonstrado na figura 9 (A a D).



Figura

9. Aplicação do modelo de Bland-Altman para determinação do erro associado aos modelos de predição do GE. A – grupo masculino no exercício supino reto; B – grupo masculino no exercício leg press; C – grupo feminino no exercício supino reto; D – grupo feminino no exercício leg press. Fonte: autoria própria.

Para o GM, o viés do modelo de predição do GE foi de $-0,002$ KCal/rep (IC = $-0,3519$ a $0,3477$) no exercício supino reto e de $-0,0009$ KCal/rep (IC = $-0,3686$ a $0,3687$) no exercício leg press. Para o grupo feminino, o viés apresentado foi de $-0,0018$ KCal/rep no exercício supino reto (IC = $-0,1128$ a $0,1092$) e de $-0,0009$ KCal/rep (IC = $-0,3043$ a $0,3025$) no exercício leg press.

A partir destes modelos, são propostos os valores do GE (KCal/rep) de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press, nos percentuais de 40 a 100% de 1RM, conforme demonstrado na Tabela 12:

Tabela 12. Valor do GE (KCal/rep) de homens e mulheres nos exercícios supino reto e leg press entre 40 e 100% de 1RM.

%1RM	Homens		Mulheres	
	Supino reto	Leg Press	Supino reto	Leg Press
40%	0,53	0,50	0,18	0,36
45%	0,67	0,63	0,21	0,42
50%	0,81	0,76	0,25	0,49
55%	0,95	0,89	0,29	0,56
60%	1,10	1,02	0,32	0,63
65%	1,24	1,15	0,36	0,70
70%	1,38	1,29	0,39	0,76
75%	1,52	1,42	0,43	0,83
80%	1,66	1,55	0,47	0,90
85%	1,80	1,68	0,50	0,97
90%	1,94	1,81	0,54	1,04
95%	2,09	1,94	0,57	1,10
100%	2,23	2,08	0,61	1,17

6. Discussão

O objetivo do presente estudo foi quantificar e criar um modelo matemático para a predição do gasto energético de homens e mulheres jovens fisicamente ativos nos exercícios supino reto (SR) e leg press (LP). Para tal, é necessário inicialmente compreender os fatores que afetam o GE nos exercícios avaliados.

Em relação à ergogênese, a contribuição energética para as séries, foram avaliadas as contribuições do metabolismo anaeróbio láctico, por meio da concentração sanguínea de lactato e do metabolismo aeróbio, por meio do consumo de oxigênio (VO_2). Tanto para o grupo masculino (GM) quanto para o grupo feminino (GF), não houve diferenças significativas na contribuição das vias energéticas. Isto significa que, apesar da alteração na intensidade do exercício, o que consequentemente altera o número máximo de repetições e a duração das séries, a contribuição dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico permaneceu similar.

Em um primeiro momento, estes dados parecem ir contra a literatura. Por exemplo, um estudo realizado por Spencer e Gaustin (2002), onde foram avaliadas as contribuições das vias anaeróbia láctica e aeróbia para a produção de energia de corredores em provas de 200 a 1500m, demonstrou que quanto maior a distância percorrida e, consequentemente, a duração do exercício, maior a contribuição aeróbia e menor anaeróbia láctica. No presente estudo, houve diferença significativa no número de repetições entre as três intensidades testadas e, dado o controle realizado para que cada repetição fosse realizada em cerca de 3 segundos, a duração das séries também foi diferente. Por isso, esperar-se-ia maior contribuição aeróbia nas séries de menor intensidade, que apresentam maior número máximo de repetições e maior duração.

Esta ausência de diferença entre a ergogênese na comparação entre intensidades e exercícios pode ser explicada pelo fato de não haver diferenças significativas na lactacidemia após a execução das três intensidades no SR e no LP.

Hiscock et al. (2015) avaliaram homens treinados em 4 protocolos distintos no exercício rosca direta unilateral, todos a 70% de 1RM: protocolo de 3 séries de 8 repetições com 120 segundos de intervalo; protocolo de 3 séries de 8 repetições com 240 segundos de intervalo; protocolo de 3 séries máximas com 120 segundos de intervalo e; protocolo de 3 séries máximas com 240 segundos de intervalo. Nos protocolos máximos, foram realizadas, nas três séries de exercício, 18, 9 e 8

repetições com 120 segundos de intervalo e 18, 13 e 10 repetições com 240 segundos de intervalo, resultando, portanto, em diferença significativa no número máximo de repetições. Apesar desta diferença no número de repetições, os autores não reportaram diferença significativa na lactacidemia entre os 4 protocolos testados. Cabe ressaltar que, apesar da similaridade com o presente estudo, em que não foram encontradas diferenças significativas na lactacidemia, o estudo de Hiscock et al. (2015) foi realizado em protocolos de séries múltiplas, o que pode afetar significativamente a resposta da lactacidemia, de maneira que ela se torna cada vez mais elevada a cada série de exercício (WIRTZ et al., 2014).

Lagally et al. (2002) verificaram a resposta da lactacidemia de mulheres após séries submáximas a 30, 60 e 90% de 1RM na rosca direta, nas quais foram realizadas 4, 6 e 12 repetições, respectivamente, para que o trabalho total, calculado pelo produto da intensidade pelo número de repetições, fosse similar. Ao contrário do presente estudo, os autores verificaram que a lactacidemia sofreu efeito da intensidade, de maneira que quanto maior a intensidade, maior a concentração de lactato. Entretanto, o estudo de Lagally et al. (2002) não realizou séries até a falha concêntrica. Os autores optaram por igualar o trabalho total (TT) entre as três séries.

Nossos resultados demonstraram que, em séries máximas, o TT é maior nas menores intensidades, pois apesar da proporcionalidade dos pesos em relação a 1RM, o NMR aumenta de maneira exponencial quando a intensidade é diminuída. Por exemplo, no exercício SR, na intensidade de 80% de 1RM foi realizada uma média de 8 repetições, ao passo que na intensidade de 40%, com metade do peso, foi realizado um número de repetições mais de 4 vezes maior (média de 33 para o GM e 35 para o GF).

Dois fatores devem ser observados em relação à contribuição anaeróbia láctica durante as séries de exercício resistido: a potência anaeróbia láctica e a capacidade anaeróbia láctica. A potência anaeróbia láctica é a velocidade com que o metabolismo anaeróbio láctico é capaz de realizar a ressíntese de ATP, ao passo que a capacidade anaeróbia láctica é a quantidade total de ATP que este metabolismo é capaz de produzir, independente do tempo (NOORDHOF et al., 2010). Para o nosso conhecimento, este é o primeiro estudo a demonstrar que, após séries simples realizadas até a falha concêntrica, em diferentes intensidades, ocorre o mesmo aumento da lactacidemia. Em outras palavras, no exercício resistido, parece haver diferença na potência, mas não na capacidade anaeróbia láctica.

Outro importante aspecto do GE no exercício é a sua relação com o TT. Esta relação determina a eficiência mecânica (EM), que pode ser determinada como a relação entre a produção de trabalho e o GE (HUNGER et al., 2005). Ter boa EM significa que um indivíduo é capaz de realizar determinada atividade com menor GE.

No presente estudo, foi verificada a relação do TT com o GE, o que resultou na medida da quantidade de energia necessária para realizar uma tonelada de trabalho (KCal/t). No GM, ocorreu aumento do custo por tonelada no exercício SR em função da intensidade de trabalho. A principal explicação para a redução da EM com o aumento da intensidade é o maior recrutamento de fibras tipo II (BURD et al., 2012), que, apesar de serem fibras de contração rápida e produção de força, demandam maior quantidade de energia (ATP) por unidade de trabalho (HUNGER et al., 2005). Em outras palavras, à medida em que se aumenta a intensidade, maior quantidade de fibras tipo II são recrutadas e cada quilograma de trabalho passa a ter maior demanda energética.

De maneira contrária ao SR, no exercício LP, para o GM, não foram encontradas diferenças significativas entre as intensidades. O GE relacionado ao TT também foi diferente entre homens e mulheres no exercício supino reto e para o GM houve diferença significativa entre os exercícios, o que torna o TT um fraco preditor do GE em exercícios resistidos.

Outro ponto a respeito da EM é a diferença entre os exercícios. No GM houve diferença significativa entre os exercícios SR e LP nas três intensidades treinadas. Kalb et al. (1991) avaliaram indivíduos nos exercícios agachamento e desenvolvimento de ombros, ambos realizados em barra guiada, nas intensidades de 60 e 80% de 1RM. Conforme encontrado no exercício SR no presente estudo, a intensidade de 60% de 1RM apresentou maior EM comparada à intensidade de 80% de 1RM. Outro achado importante do estudo de Kalb et al. (1991) foi o fato de que, mesmo com a realização do agachamento e do desenvolvimento de ombros em barra guiada, o custo pelo componente vertical dos exercícios foi diferente, de maneira que, no exercício agachamento, a EM foi superior.

A EM é um fator complexo e pode diferir entre exercícios e intensidades por diversos fatores como o aumento na dependência de fibras tipo II, que são menos eficientes, aumento no recrutamento de músculos estabilizadores, aumento no trabalho cardíaco e respiratório, uso de energia para a remoção de lactato pela gliconeogênese, mudanças na atividade da enzima ATPase nas pontes cruzadas,

aumento na atividade do sistema nervoso simpático, comprimento dos membros e braços de alavanca no movimento e pela biomecânica específica de cada exercício (HUNTER et al., 2000; HUNTER et al., 2005).

Em nosso laboratório, comparamos o GE de homens treinados em 4 séries de 10 repetições a 70% nos exercícios SR e LP (MAGOSSO et al., 2013). Nossos resultados demonstraram que a EM era significativamente diferente entre estes dois exercícios, de maneira que levantar 1kg no exercício SR acarretava no mesmo GE de levantar 4kg no exercício LP. Desta forma, os dados do presente estudo, combinados ao trabalho anterior realizado em nosso laboratório (MAGOSSO et al., 2013) reforçam a diferença entre os exercícios supino reto e leg press, assim demonstrando que a predição do GE em função do TT deve ser feita separadamente para os exercícios.

Essa relação de diferença pode ser observada na comparação entre os exercícios testados. Para as três intensidades avaliadas, o GET no LP foi significativamente superior ao do SR. Entretanto, o mesmo é válido para o NMR e, quando o GET foi dividido pelo NMR, não foram encontradas diferenças entre os exercícios para a mesma intensidade no GM. Isto significa que o maior GET encontrado no LP do GM é determinado exclusivamente pela maior capacidade de realizar repetições no mesmo percentual de 1RM. Ao contrário do GM, no GF, apesar de que um maior NMR foi encontrado no LG, ainda assim houve diferença significativa no GE por repetição entre os exercícios supino reto e leg press nas intensidades de 40, 60 e 80% de 1RM.

Apesar de não haver diferenças significativas no GET entre as intensidades do mesmo exercício, quando o GE foi corrigido por repetição, as diferenças foram encontradas, de maneira que as maiores intensidades promovem maior GE por repetição. Este fator é possivelmente explicado pelo possível fato supramencionado de recrutamento não apenas de maior quantidade de fibras tipo II, que são metabolicamente menos eficientes, como pelo recrutamento de músculos sinergistas.

De acordo com o padrão descrito pelo princípio do tamanho, proposto por Henneman, as unidades motoras de maior limiar de despolarização são progressivamente ativadas ou pelo aumento da intensidade do exercício (SALE, 1987). Isto significa que, em contrações de baixa intensidade, o menor estímulo nervoso sobre os músculos tem intensidade suficiente apenas para despolarizar

unidades motoras do tipo I. À medida em que a intensidade aumenta, o estímulo neural também é elevado e eventualmente se torna suficiente para despolarizar as fibras do tipo IIa e, finalmente, as fibras do tipo IIb. Devido ao fato de se chegar à falha concêntrica, a última repetição de uma série máxima possui o mesmo estresse sobre o sistema neuromuscular de 1RM e por isso as fibras do tipo IIb são recrutadas nas últimas repetições, sendo esta a principal premissa do treino máximo (WILLARDSON, 2007).

Com a correção do GE em KCal/rep, as três intensidades foram plotadas juntamente para que os modelos de regressão pudessem ser aplicados e o efeito da intensidade sobre o GE fosse determinado. Reis et al. (2017) verificaram o comportamento do GE em oito exercícios e demonstraram que o GE aumenta de maneira linear em função da intensidade. Entretanto, o estudo de Reis et al. (2017) aplicou séries de 5 minutos nas intensidades de 12, 16, 20 e 24% de 1RM, que foram plotadas junto do GE de uma série máxima a 80% de 1RM, e a unidade utilizada foi de GE por minuto (KCal/min).

Uma possível crítica ao presente estudo pode ser feita em relação ao fato de que apenas uma série de exercício foi realizada. Desta forma, fica a dúvida se o presente modelo de predição do GE seria aplicável a múltiplas séries de exercício. Entretanto, dois estudos já citados na revisão de literatura deste trabalho corroboram a nossa hipótese que este modelo é aplicável nestas situações: o estudo de Scott et al. (2009), em que os indivíduos realizavam 7, 14 ou 21 repetições no exercício supino reto, e o estudo de Mokerjee et al. (2016), que compararam o GE de homens e mulheres em dois protocolos envolvendo 1 ou 3 séries de 5 exercícios de membros superiores a 70% de 1RM. Nos dois estudos, o GE foi proporcional ao volume de treinamento, indicando que esta relação possa ser mantida mesmo com a realização de séries múltiplas no exercício.

Outro fator interessante no estudo de Mokerjee et al. (2016) está na comparação entre homens e mulheres. Nele, os autores reportaram diferença de entre os sexos, de maneira que o Ge dos homens para o exercício supino reto foi cerca de 2,5 vezes maior. No presente estudo, o GE dos homens no exercício supino reto foi entre 3 a 4 vezes superior ao das mulheres. Assim, nossos dados estão de acordo com a literatura na superioridade do Ge de homens para exercícios de membros superiores.

Outra limitação do presente estudo está na ausência de quantificação do tempo das séries. O tempo de tensão pode afetar diretamente as respostas de lactacidemia e o gasto energético. Entretanto, cabe ressaltar que um avaliador experiente acompanhou os voluntários e forneceu estímulos verbais para que as repetições fossem realizadas próximas de 3 segundos.

Outra possível limitação do presente estudo está na ausência de quantificação do componente anaeróbio alático. A maneira mais precisa para este cálculo é por ressonância magnética, o que seria inviável no presente estudo. Outra maneira é a estimativa a partir do consumo de oxigênio na recuperação após o exercício (EPOC – *excess post-exercise oxygen consumption*). Entretanto, em exercícios resistidos, devido ao acoplamento da ventilação ao movimento e ao efeito de vasocompressão que ocorre durante as séries, a maior ventilação e contribuição do metabolismo aeróbio ocorrem na recuperação, o que inviabiliza este método. Além disso, o método permite determinar qual a contribuição anaeróbia alática dentro do EPOC, mas não afeta o GET. Além destes fatores inerentes aos exercícios resistidos, o presente estudo empregou, para a possibilidade de quantificação de gasto energético aeróbio, a média de análises ventilatórias a cada 20 segundos. Desta maneira, não era possível separar o ponto exato do final da série do início da recuperação. Entretanto, apesar de não determinar a participação anaeróbia láctica, o presente estudo ainda é capaz de fornecer a estimativa mais precisa possível do GE nos exercícios resistidos na atualidade.

Apesar destas limitações, acreditamos que o modelo apresentado no presente estudo é viável para a determinação do GE em exercícios resistidos, devido a alguns fatores que fortaleceram sua metodologia: em primeiro lugar, foi retirado do cálculo do GET, o gasto energético de repouso. Desta forma, mesmo que os indivíduos tivessem variações no GE de repouso entre diferentes dias, isso não deve ter afetado o GET. Ademais, os indivíduos foram instruídos a não realizarem exercícios, consumirem bebidas estimulantes e manter o mesmo padrão dietético nas 24h que precederam o estudo, além de que os testes eram feitos no mesmo período do dia e com temperatura controlada, por isso eventuais variações no GE de repouso foram minimizadas ou até mesmo eliminadas.

Também foi feito o cálculo do GE aeróbio com base no quociente respiratório (QR), determinando o equivalente energético do consumo de oxigênio. Conforme citado anteriormente, diversos estudos utilizam a média de 5KCal por litro de

oxigênio consumido, apesar de que ele pode variar entre 4,851 e 5,189 KCal/l. Esta diligência em relação ao equivalente energético do consumo de oxigênio é de extrema importância para que o GET não seja afetado de maneira a ser subestimado ou superestimado, erro este que afetaria os modelos de predição propostos no presente estudo.

Por fim, acreditamos ser mais um aspecto favorável do nosso estudo a análise da cinética da lactacidemia. O estudo de Scott (2006) demonstrou que a não consideração do componente anaeróbio láctico nos exercícios resistidos pode levar a subestimar o GE do exercício. Não apenas este componente foi incluído no cálculo, como foi possível determinar o valor pico, devido aos diversos pontos de análise após os exercícios. Em nossos resultados, foi verificado que o momento do pico da lactacidemia foi variável entre os indivíduos, com valores entre 3 e 12 minutos. Desta forma, acreditamos que atingimos os valores mais próximos possível do pico da lactacidemia após a realização de cada protocolo, o que permitiu o cálculo adequado do componente anaeróbio láctico.

Sendo assim, este conjunto de fatores nos leva a crer que o modelo experimental empregado no presente estudo é viável para a determinação do GE de exercícios resistidos e de sua predição, conforme demonstrado pelas análises de Bland-Altman, que revelaram baixo viés nos modelos preditivos. A partir dos resultados gerados com os modelos preditivos apresentados, treinadores e praticantes de treinamento resistido podem realizar a estimativa do GE de suas sessões de treino já com o EPOC incluso, a partir do conhecimento do volume e intensidade do treinamento em percentual de 1RM.

7. Conclusões

A partir dos dados coletados, foi possível estabelecer os modelos matemáticos de predição do gasto energético de homens e mulheres fisicamente ativos nos exercícios supino reto e leg press. Este modelos consistem no valor do gasto energético por repetição em cada percentual de 1 repetição máxima.

Em relação à participação dos componentes aeróbio e anaeróbio láctico, nossos resultados demonstram que a maior participação é aeróbia, ao passo que o componente anaeróbio láctico correspondeu a cerca de 15 a 25% do gasto energético total.

Na relação entre o gasto energético e o trabalho total, concluímos que o custo de levantamento por tonelada é maior no exercício supino reto comparado ao exercício leg press, tanto para o grupo masculino quanto para o grupo feminino.

7.1. Aplicações práticas

A partir dos resultados obtidos pelo presente estudo, é possível predizer o gasto energético de homens e mulheres fisicamente ativos em sessões de treinamento resistido. Para isso, deve-se conhecer a intensidade do exercício em percentual de 1 repetição máxima e multiplicar o número total de repetições da sessão pelo gasto energético correspondente à intensidade empregada na sessão de treino.

Ademais, nosso modelo experimental se mostrou viável para que outros exercícios e outras populações sejam estudados, para elucidar de maneira mais precisa e conclusiva o gasto energético de exercícios resistidos. Estudos futuros podem ser empregados para verificar a validade das equações produzidas pelo presente estudo.

8. Referências

- AGUILAR-FARÍAS, Nicolás et al. Validity of self-report methods for measuring sedentary behaviour in older adults. **Journal of science and medicine in sport**, v. 18, n. 6, p. 662-666, 2015.
- AINSLIE, Philip N.; REILLY, Thomas; WESTERTERP, Klass R. Estimating human energy expenditure. **Sports medicine**, v. 33, n. 9, p. 683-698, 2003.
- ALAJMI, Nawal et al. Appetite and energy intake responses to acute energy deficits in females versus males. 2016.
- ALIASGHARZADEH, Soghra et al. Comparison of Indirect Calorimetry and Predictive Equations in Estimating Resting Metabolic Rate in Underweight Females. **Iranian journal of public health**, v. 44, n. 6, p. 822, 2015.
- ALIZADEH, Zahra et al. Acute effect of morning and afternoon aerobic exercise on appetite of overweight women. **Asian journal of sports medicine**, v. 6, n. 2, 2015.
- ALLEN, FREDERICK M.; DU BOIS, EUGENE F. Clinical calorimetry: seventeenth paper metabolism and treatment in diabetes. **Archives Of Internal Medicine**, v. 17, n. 6_2, p. 1010-1059, 1916.
- ALLEN, William; PEPYS, William Hasledine. On the changes produced in atmospheric air, and oxygen gas, by respiration. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 98, p. 249-281, 1808.
- AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 41, n. 3, p. 687, 2009.
- ANICETO, Rodrigo Ramalho et al. Efeitos agudos de diferentes métodos de treinamento com pesos sobre o gasto energético em homens treinados. **Rev. bras. med. esporte**, v. 19, n. 3, p. 181-185, 2013.
- ARCHIZA, Bruno; WELCH, Joseph F.; SHEEL, A. William. Classical experiments in whole-body metabolism: closed-circuit respirometry. **European journal of applied physiology**, v. 117, n. 10, p. 1929-1937, 2017.
- ÅSTRAND, P.-O.; RYHMING, Irma. A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. **Journal of applied physiology**, v. 7, n. 2, p. 218-221, 1954.
- ATWATER, Wilbur O. The potential energy of food. **The chemistry of food. III. Century Magazine**, v. 34, p. 397-405, 1887.
- BALAGUERA-CORTES, Liliana et al. Energy intake and appetite-related hormones following acute aerobic and resistance exercise. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 36, n. 6, p. 958-966, 2011.

BALL, Kylie; BROWN, W.; CRAWFORD, David. Who does not gain weight? Prevalence and predictors of weight maintenance in young women. **International journal of obesity**, v. 26, n. 12, p. 1570, 2002.

BARROS, C. L. M. et al. Limiar de lactato em exercício resistido. **Ver Motriz**, v. 10, n. 1, p. 31-6, 2004.

BEGHIN, L. et al. Assessing sleeping energy expenditure in children using heart-rate monitoring calibrated against open-circuit indirect calorimetry: a pilot study. **British Journal of Nutrition**, v. 88, n. 5, p. 533-543, 2002.

BEGHIN, L. et al. Simplification of the method of assessing daily and nightly energy expenditure in children, using heart rate monitoring calibrated against open circuit indirect calorimetry. **Clinical Nutrition**, v. 19, n. 6, p. 425-435, 2000.

BENITO, P. J. et al. Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. **European journal of applied physiology**, v. 112, n. 8, p. 3155-3159, 2012.

BILSKI, Jan et al. Effects of exercise of different intensity on gut peptides, energy intake and appetite in young males. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 20, n. 4, 2013.

BINZEN, Carol A.; SWAN, Pamela D.; MANORE, Melinda M. Postexercise oxygen consumption and substrate use after resistance exercise in women. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 6, p. 932-938, 2001.

BLUNDELL, John E. et al. Cross talk between physical activity and appetite control: does physical activity stimulate appetite?. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 3, p. 651-661, 2003.

BLUNDELL, John E. et al. Cross talk between physical activity and appetite control: does physical activity stimulate appetite?. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 62, n. 3, p. 651-661, 2003.

BRENTANO, M. A. et al. Supersets do not change energy expenditure during strength training sessions in physically active individuals. **Journal of Exercise Science & Fitness**, v. 14, n. 2, p. 41-46, 2016.

BRIOSCHI, Marcos Leal. A história da termografia. **Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo**, v. 91, n. 92, p. 7.2, 2008.

BRITO, Armando A. Flogisto, Calórico & Éter. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**, v. 20, n. 3-4, p. 51-63, 2008.

BURD, Nicholas A. et al. Bigger weights may not beget bigger muscles: evidence from acute muscle protein synthetic responses after resistance exercise. **Applied physiology, nutrition, and metabolism**, v. 37, n. 3, p. 551-554, 2012.

CAMERON, Jameason D. et al. Energy depletion by diet or aerobic exercise alone: impact of energy deficit modality on appetite parameters. **The American journal of clinical nutrition**, v. 103, n. 4, p. 1008-1016, 2016.

CAMPANHOLI NETO, Jose. Demanda energética na sessão de exercício resistido com características de hipertrofia e resistência muscular localizada. 2015.

CAMPS, Stefan GJA; VERHOEF, Sanne PM; WESTERTERP, Klaas R. Weight loss, weight maintenance, and adaptive thermogenesis. **The American journal of clinical nutrition**, v. 97, n. 5, p. 990-994, 2013.

CARPENTER, Thorne M. The development of methods for determining basal metabolism of mankind. 1933.

CARREIRO, Alicia L. et al. The macronutrients, appetite, and energy intake. **Annual review of nutrition**, v. 36, p. 73-103, 2016.

CASPERSEN, Carl J.; POWELL, Kenneth E.; CHRISTENSON, Gregory M. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. **Public health reports**, v. 100, n. 2, p. 126, 1985.

CASTRO, E. A. et al. Sedentary behavior and compensatory mechanisms in response to different doses of exercise—a randomized controlled trial in overweight and obese adults. **European Journal of Clinical Nutrition**, 2017.

CAUDWELL, Phillipa et al. Exercise alone is not enough: weight loss also needs a healthy (Mediterranean) diet?. **Public health nutrition**, v. 12, n. 9A, p. 1663-1666, 2009.

CAUDWELL, Phillipa et al. Exercise and weight loss: no sex differences in body weight response to exercise. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 42, n. 3, p. 92-101, 2014.

CAUDWELL, Phillipa et al. No sex difference in body fat in response to supervised and measured exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 45, n. 2, p. 351-358, 2013.

CERRITO, Adrien et al. Reliability and validity of a smartphone-based application for the quantification of the sit-to-stand movement in healthy seniors. **Gait & posture**, v. 41, n. 2, p. 409-413, 2015.

CHASTON, T. B.; DIXON, J. B.; O'BRIEN, P. E. Changes in fat-free mass during significant weight loss: a systematic review. **International journal of obesity**, v. 31, n. 5, p. 743-750, 2007.

CHOMENTOWSKI, Peter et al. Moderate exercise attenuates the loss of skeletal muscle mass that occurs with intentional caloric restriction—induced weight loss in older, overweight to obese adults. **Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences**, v. 64, n. 5, p. 575-580, 2009.

COMMITTEE ON SPORTS MEDICINE AND FITNESS et al. Promotion of healthy weight-control practices in young athletes. **Pediatrics**, v. 116, n. 6, p. 1557-1564, 2005.

CONWAY, Joan M. et al. Comparison of energy expenditure estimates from doubly labeled water, a physical activity questionnaire, and physical activity records. **The American journal of clinical nutrition**, v. 75, n. 3, p. 519-525, 2002a.

CONWAY, Joan M.; IRWIN, Melinda L.; AINSWORTH, Barbara E. Estimating energy expenditure from the Minnesota Leisure Time Physical Activity and Tecumseh Occupational Activity questionnaires—a doubly labeled water validation. **Journal of clinical epidemiology**, v. 55, n. 4, p. 392-399, 2002b.

COUTTS, Aaron J. et al. Metabolic power and energetic costs of professional Australian Football match-play. **Journal of science and medicine in sport**, v. 18, n. 2, p. 219-224, 2015.

DA POIAN, A. T.; EL-BACHA, T.; LUZ, M. R. M. P. Nutrient utilization in humans: metabolism pathways. **Nature Education**, v. 3, n. 9, p. 11, 2010.

DE GRAAUW, Suzanne M. et al. Review of prediction models to estimate activity-related energy expenditure in children and adolescents. **International journal of pediatrics**, v. 2010, 2010.

DE LA CONCEPCIÓN, MA Álvarez et al. Discrete techniques applied to low-energy mobile human activity recognition. A new approach. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 14, p. 6138-6146, 2014.

DE MÜLLENHEIM, P.-Y. et al. Using GPS, accelerometry and heart rate to predict outdoor graded walking energy expenditure. **Journal of science and medicine in sport**, v. 21, n. 2, p. 166-172, 2018.

DE SOUSA, N. M. F. et al. Acute cardiorespiratory and metabolic responses during resistance exercise in the lactate threshold intensity. **International journal of sports medicine**, v. 33, n. 02, p. 108-113, 2012.

DE SOUSA, Nuno Manuel Frade et al. The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. **Clinical physiology and functional imaging**, v. 31, n. 5, p. 376-381, 2011.

DEIGHTON, Kevin et al. Appetite, energy intake, and PYY3–36 responses to energy-matched continuous exercise and submaximal high-intensity exercise. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 38, n. 9, p. 947-952, 2013.

DEIGHTON, Kevin et al. Appetite, gut hormone and energy intake responses to low volume sprint interval and traditional endurance exercise. **European journal of applied physiology**, v. 113, n. 5, p. 1147-1156, 2013.

DELANY, James P. Measurement of energy expenditure. **Pediatric blood & cancer**, v. 58, n. 1, p. 129-134, 2012.

DI PRAMPERO, Pietro Enrico; FERRETTI, Guido. The energetics of anaerobic muscle metabolism: a reappraisal of older and recent concepts. **Respiration physiology**, v. 118, n. 2, p. 103-115, 1999.

DIRKS, Amie J.; LEEUWENBURGH, Christiaan. Caloric restriction in humans: potential pitfalls and health concerns. **Mechanisms of ageing and development**, v. 127, n. 1, p. 1-7, 2006.

DODD, C. J.; WELSMAN, J. R.; ARMSTRONG, Neil. Energy intake and appetite following exercise in lean and overweight girls. **Appetite**, v. 51, n. 3, p. 482-488, 2008.

DONNELLY, Joseph E. et al. Aerobic exercise alone results in clinically significant weight loss for men and women: midwest exercise trial 2. **Obesity**, v. 21, n. 3, 2013.

DONNELLY, Joseph E. et al. Effects of a 16-month randomized controlled exercise trial on body weight and composition in young, overweight men and women: the Midwest Exercise Trial. **Archives of internal medicine**, v. 163, n. 11, p. 1343-1350, 2003.

DOUCET, Eric et al. Evidence for the existence of adaptive thermogenesis during weight loss. **British Journal of Nutrition**, v. 85, n. 6, p. 715-723, 2001.

DOUCET, Eric et al. Greater than predicted decrease in energy expenditure during exercise after body weight loss in obese men. **Clinical Science**, v. 105, n. 1, p. 89-95, 2003.

DUNCAN, Mitch J.; BADLAND, Hannah M.; MUMMERY, W. Kerry. Applying GPS to enhance understanding of transport-related physical activity. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 12, n. 5, p. 549-556, 2009.

DURLING, Richard J. The innate heat in Galen. **Medizinhistorisches Journal**, n. H. 3/4, p. 210-212, 1988.

EISENMANN, Joey C. et al. Estimated daily energy expenditure and blood lipids in adolescents: the Quebec Family Study. **Journal of adolescent health**, v. 33, n. 3, p. 147-153, 2003.

ERDOGAN, Ali et al. Accuracy of the Polar S810i™ heart rate monitor and the Sensewear Pro Armband™ to estimate energy expenditure of indoor rowing exercise in overweight and obese individuals. **Journal of sports science & medicine**, v. 9, n. 3, p. 508, 2010.

FARAH, N. M.; MALKOVA, Dalia; GILL, J. M. Effects of exercise on postprandial responses to ad libitum feeding in overweight men. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 42, n. 11, p. 2015-2022, 2010.

FARINATTI, Paulo de Tarso Veras. Apresentação de uma Versão em Português do Compêndio de Atividades Físicas: uma contribuição aos pesquisadores e

profissionais em Fisiologia do Exercício. **Rev Bras Fisiol Exerc**, v. 2, n. 2, p. 177-208, 2003.

FARINATTI, Paulo TV et al. Influence of exercise order on oxygen uptake during strength training in young women. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 23, n. 3, p. 1037-1044, 2009.

FARINATTI, Paulo TV; NETO, Antonio G. Castinheiras. The effect of between-set rest intervals on the oxygen uptake during and after resistance exercise sessions performed with large-and small-muscle mass. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 11, p. 3181-3190, 2011.

FENBY, David V. Heat: its measurement from Galileo to Lavoisier. **Pure and Applied Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 91-100, 1987.

FINLAYSON, Graham et al. Acute compensatory eating following exercise is associated with implicit hedonic wanting for food. **Physiology & behavior**, v. 97, n. 1, p. 62-67, 2009.

FRANKENFIELD, David C. On heat, respiration, and calorimetry. **Nutrition**, v. 26, n. 10, p. 939-950, 2010.

FRENCH, S. A. et al. Predictors of weight change over two years among a population of working adults: the Healthy Worker Project. **International journal of obesity and related metabolic disorders: journal of the International Association for the Study of Obesity**, v. 18, n. 3, p. 145-154, 1994.

FRIEDL, Karl E. et al. Endocrine markers of semistarvation in healthy lean men in a multistressor environment. **Journal of Applied Physiology**, v. 88, n. 5, p. 1820-1830, 2000.

GARROW, J. S.; SUMMERBELL, C. D. Meta-analysis: effect of exercise, with or without dieting, on the body composition of overweight subjects. **European journal of clinical nutrition**, v. 49, n. 1, p. 1-10, 1995.

GEORGE, Valerie A.; MORGANSTEIN, Andrea. Effect of moderate intensity exercise on acute energy intake in normal and overweight females. **Appetite**, v. 40, n. 1, p. 43-46, 2003.

GIBBS, Jenna C. et al. Effect of high dietary restraint on energy availability and menstrual status. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 45, n. 9, p. 1790-1797, 2013.

GOROSTIAGA, Esteban M. et al. Anaerobic energy expenditure and mechanical efficiency during exhaustive leg press exercise. **PloS one**, v. 5, n. 10, p. e13486, 2010.

GREEN, Jonathan A. The heart rate method for estimating metabolic rate: review and recommendations. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 158, n. 3, p. 287-304, 2011.

GREEN, Michael W. et al. Impairment of cognitive performance associated with dieting and high levels of dietary restraint. **Physiology & Behavior**, v. 55, n. 3, p. 447-452, 1994.

GREEN, Michael W.; ELLIMAN, Nicola A.; KRETSCH, Mary J. Weight loss strategies, stress, and cognitive function: supervised versus unsupervised dieting. **Psychoneuroendocrinology**, v. 30, n. 9, p. 908-918, 2005.

GUEDES, Dartagnan Pinto. **Manual prático para avaliação em educação física**. Editora Manole Ltda, 2006.

GUIDOUX, Romain et al. A smartphone-driven methodology for estimating physical activities and energy expenditure in free living conditions. **Journal of biomedical informatics**, v. 52, p. 271-278, 2014.

GUPTA, Riddhi Das et al. Indirect calorimetry: From bench to bedside. **Indian journal of endocrinology and metabolism**, v. 21, n. 4, p. 594, 2017.

HADDOCK, B. L.; WILKIN, L. D. Resistance training volume and post exercise energy expenditure. **International Journal of Sports Medicine**, v. 27, n. 02, p. 143-148, 2006.

HALDANE, John. A new form of apparatus for measuring the respiratory exchange of animals. **The Journal of physiology**, v. 13, n. 5, p. 419-430, 1892.

HALL, Kevin D. What is the required energy deficit per unit weight loss?. **International Journal of Obesity**, v. 32, n. 3, p. 573-576, 2008.

HALTOM, Ronald W. et al. Circuit weight training and its effects on excess postexercise oxygen consumption. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 31, n. 11, p. 1613-1618, 1999.

HANKINSON, Arlene L. et al. Maintaining a high physical activity level over 20 years and weight gain. **Jama**, v. 304, n. 23, p. 2603-2610, 2010.

HANSOTIA, Phiroze. A neurologist looks at mind and brain: "The enchanted loom". **Clinical medicine & research**, v. 1, n. 4, p. 327-332, 2003.

HARDEE, Justin P. et al. The effect of resistance exercise on all-cause mortality in cancer survivors. In: **Mayo Clinic Proceedings**. Elsevier, 2014. p. 108-1115.

HARGROVE, James L. History of the calorie in nutrition. **The Journal of nutrition**, v. 136, n. 12, p. 2957-2961, 2006.

HARRIS, Cristen L.; GEORGE, Valerie A. The impact of dietary restraint and moderate-intensity exercise on post-exercise energy intake in sedentary males. **Eating behaviors**, v. 9, n. 4, p. 415-422, 2008.

HAUGEN, Heather A.; CHAN, Lingtak-Neander; LI, Fanny. Indirect calorimetry: a practical guide for clinicians. **Nutrition in Clinical Practice**, v. 22, n. 4, p. 377-388, 2007.

HEDEN, Timothy et al. One-set resistance training elevates energy expenditure for 72 h similar to three sets. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 3, p. 477-484, 2011.

HERRMANN, Stephen D. et al. Energy intake, nonexercise physical activity, and weight loss in responders and nonresponders: The Midwest Exercise Trial 2. **Obesity**, v. 23, n. 8, p. 1539-1549, 2015.

HERRMANN, Stephen D. et al. The influence of physical characteristics on the resting energy expenditure of youth: A meta-analysis. **American Journal of Human Biology**, v. 29, n. 3, 2017.

HEYDENREICH, Juliane et al. Total Energy Expenditure, Energy Intake, and Body Composition in Endurance Athletes Across the Training Season: A Systematic Review. **Sports Medicine-Open**, v. 3, n. 1, p. 8, 2017.

HEYMSFIELD, S. B. et al. Voluntary weight loss: systematic review of early phase body composition changes. **obesity reviews**, v. 12, n. 5, 2011.

HILL, James O. Understanding and addressing the epidemic of obesity: an energy balance perspective. **Endocrine reviews**, v. 27, n. 7, p. 750-761, 2006.

HOPKINS, Mark; BLUNDELL, John E. Energy balance, body composition, sedentariness and appetite regulation: pathways to obesity. **Clinical Science**, v. 130, n. 18, p. 1615-1628, 2016.

HOPKINS, Mark; BLUNDELL, John E. Energy balance, body composition, sedentariness and appetite regulation: pathways to obesity. **Clinical Science**, v. 130, n. 18, p. 1615-1628, 2016.

HUNTER, Gary R. et al. Inverse relationship between exercise economy and oxidative capacity in muscle. **European journal of applied physiology**, v. 94, n. 5-6, p. 558-568, 2005.

HUTTMANN, Sophie E.; WINDISCH, Wolfram; STORRE, Jan H. Techniques for the measurement and monitoring of carbon dioxide in the blood. **Annals of the American Thoracic Society**, v. 11, n. 4, p. 645-652, 2014.

JAKICIC, John M. The effect of physical activity on body weight. **Obesity**, v. 17, n. S3, 2009.

JACKSON, Andrew S.; POLLOCK, Michael L. Generalized equations for predicting body density of men. **British journal of nutrition**, v. 40, n. 3, p. 497-504, 1978.

JERAN, S.; STEINBRECHER, A.; PISCHON, T. Prediction of activity-related energy expenditure using accelerometer-derived physical activity under free-living

conditions: a systematic review. **International Journal of Obesity**, v. 40, n. 8, p. 1187-1197, 2016.

JOHANNSEN, Darcy L. et al. Metabolic slowing with massive weight loss despite preservation of fat-free mass. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 97, n. 7, p. 2489-2496, 2012.

KALB, Janet Schwarz; HUNTER, G. R. Weight training economy as a function of intensity of the squat and overhead press exercise. **The Journal of sports medicine and physical fitness**, v. 31, n. 2, p. 154-160, 1991.

KANG, Jie et al. Evaluation of physiological responses during recovery following three resistance exercise programs. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 19, n. 2, p. 305-309, 2005.

KELLEHER, Andrew R. et al. The metabolic costs of reciprocal supersets vs. traditional resistance exercise in young recreationally active adults. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 4, p. 1043-1051, 2010.

KELLEY, George A. et al. Comparison of aerobic exercise, diet or both on lipids and lipoproteins in adults: a meta-analysis of randomized controlled trials. **Clinical Nutrition**, v. 31, n. 2, p. 156-167, 2012.

KENNY, Glen P.; NOTLEY, Sean R.; GAGNON, Daniel. Direct calorimetry: a brief historical review of its use in the study of human metabolism and thermoregulation. **European journal of applied physiology**, v. 117, n. 9, p. 1765-1785, 2017.

KIM, Do Yoon et al. Different location of triaxial accelerometer and different energy expenditures. **Yonsei medical journal**, v. 55, n. 4, p. 1145-1151, 2014.

KING, James A. et al. Differential acylated ghrelin, peptide YY3–36, appetite, and food intake responses to equivalent energy deficits created by exercise and food restriction. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 96, n. 4, p. 1114-1121, 2011.

KING, James A. et al. Influence of brisk walking on appetite, energy intake, and plasma acylated ghrelin. 2010a.

KING, James A. et al. Influence of prolonged treadmill running on appetite, energy intake and circulating concentrations of acylated ghrelin. **Appetite**, v. 54, n. 3, p. 492-498, 2010b.

KING, Neil A. et al. Dual-process action of exercise on appetite control: increase in orexigenic drive but improvement in meal-induced satiety. **The American journal of clinical nutrition**, v. 90, n. 4, p. 921-927, 2009.

KING, Neil A. et al. Individual variability following 12 weeks of supervised exercise: identification and characterization of compensation for exercise-induced weight loss. **International Journal of Obesity**, v. 32, n. 1, p. 177-184, 2008.

KOKKINOS, Peter. Physical activity, health benefits, and mortality risk. **ISRN cardiology**, v. 2012, 2012.

KRASCHNEWSKI, Jennifer L. et al. Is strength training associated with mortality benefits? A 15year cohort study of US older adults. **Preventive medicine**, v. 87, p. 121-127, 2016

KRETSCH, M. J. et al. Cognitive effects of a long-term weight reducing diet. **International Journal of Obesity & Related Metabolic Disorders**, v. 21, n. 1, 1997.

KRETSCH, M. J. et al. Cognitive function, iron status, and hemoglobin concentration in obese dieting women. **European journal of clinical nutrition**, v. 52, n. 7, p. 512-518, 1998.

LAN, Tzuo-Yun; CHANG, Hsing-Yi; TAI, Tong-Yuan. Relationship between components of leisure physical activity and mortality in Taiwanese older adults. **Preventive medicine**, v. 43, n. 1, p. 36-41, 2006.

LARSON-MEYER, D. Enette et al. Influence of running and walking on hormonal regulators of appetite in women. **Journal of obesity**, v. 2012, 2012.

LEE, I.-Min et al. Physical activity and weight gain prevention. **Jama**, v. 303, n. 12, p. 1173-1179, 2010.

LEIGH, JULIAN M. Respiration, the pulse and animal heat. **Anaesthesia**, v. 29, n. 1, p. 69-86, 1974.

LEITZMANN, Michael F. et al. Physical activity recommendations and decreased risk of mortality. **Archives of internal medicine**, v. 167, n. 22, p. 2453-2460, 2007.

LEMMER, Jeffrey T. et al. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 4, p. 532-541, 2001.

LEONARD, William R. Measuring human energy expenditure and metabolic function: basic principles and methods. **J Anthropol Sci**, v. 88, p. 221-230, 2010.

LEVINE, James A. et al. Non-exercise activity thermogenesis. **Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology**, v. 26, n. 4, p. 729-736, 2006.

LEVINE, James A. Measurement of energy expenditure. **Public health nutrition**, v. 8, n. 7a, p. 1123-1132, 2005.

LIEBERMAN, Jay L. et al. Menstrual Disruption with Exercise is not Linked to an Energy Availability Threshold. **Medicine and science in sports and exercise**, 2017.

LUZ, Felipe Q. da et al. Does severe dietary energy restriction increase binge eating in overweight or obese individuals? A systematic review. **Obesity reviews**, v. 16, n. 8, p. 652-665, 2015.

MACFARLANE, Duncan J. Open-circuit respirometry: a historical review of portable gas analysis systems. **European journal of applied physiology**, v. 117, n. 12, p. 2369-2386, 2017.

MAGOSSO, Rodrigo Ferro et al. Energy expenditure during multiple sets of leg press and bench press. **Journal of Exercise Physiology Online**, v. 16, n. 5, p. 57-63, 2013.

MAÏMOUN, Laurent; GEORGOPOULOS, Neoklis A.; SULTAN, Charles. Endocrine disorders in adolescent and young female athletes: impact on growth, menstrual cycles, and bone mass acquisition. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 99, n. 11, p. 4037-4050, 2014.

MANINI, Todd M. et al. Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. **Jama**, v. 296, n. 2, p. 171-179, 2006.

MARAKI, Maria et al. Acute effects of a single exercise class on appetite, energy intake and mood. Is there a time of day effect?. **Appetite**, v. 45, n. 3, p. 272-278, 2005.

MARGARIA, RODOLFO; EDWARDS, H. T.; DILL, DAVID BRUCE. The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. **American Journal of Physiology--Legacy Content**, v. 106, n. 3, p. 689-715, 1933.

MARTINS, Cecilia et al. The effects of exercise-induced weight loss on appetite-related peptides and motivation to eat. **The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism**, v. 95, n. 4, p. 1609-1616, 2010.

MAZANSKY, H. A review of obesity and its management in 263 cases. **South African medical journal= Suid-Afrikaanse tydskrif vir geneeskunde**, v. 49, n. 47, p. 1955-1962, 1975.

MAZZETTI, Scott et al. Effect of explosive versus slow contractions and exercise intensity on energy expenditure. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 8, p. 1291, 2007.

MCCLELLAN, Walter S.; DU BOIS, Eugene F. Clinical calorimetry XLV. Prolonged meat diets with a study of kidney function and ketosis. **Journal of Biological Chemistry**, v. 87, n. 3, p. 651-668, 1930.

MCCLELLAN, Walter S.; RUPP, Virgil R.; TOSCANI, Vincent. Clinical Calorimetry XLVI. Prolonged meat diets with a study of the metabolism of nitrogen, calcium, and phosphorus. **Journal of Biological Chemistry**, v. 87, n. 3, p. 669-680, 1930.

MCNEIL, J. et al. Dose-response effects of aerobic exercise on energy compensation in postmenopausal women: combined results from two randomized controlled trials. **International Journal of Obesity**, 2017.

MEIJER, E. P.; WESTERTERP, K. R.; VERSTAPPEN, F. T. J. Effect of exercise training on physical activity and substrate utilization in the elderly. **International journal of sports medicine**, v. 21, n. 07, p. 499-504, 2000.

MELANSON, E. L. The effect of exercise on non-exercise physical activity and sedentary behavior in adults. **Obesity Reviews**, v. 18, n. S1, p. 40-49, 2017.

MELLONE, Sabato; TACCONI, Carlo; CHIARI, Lorenzo. Validity of a Smartphone-based instrumented Timed Up and Go. **Gait & posture**, v. 36, n. 1, p. 163-165, 2012.

MELO, Camila Maria de et al. Gasto energético corporal: conceitos, formas de avaliação e sua relação com a obesidade. **Arquivos Brasileiros de Endocrinologia & Metabologia**, v. 52, n. 3, p. 452-464, 2008.

MELZER, Katarina et al. Effects of physical activity on food intake. **Clinical nutrition**, v. 24, n. 6, p. 885-895, 2005.

MICHAELIS, A. M. CLINICAL CALORIMETRY Thirty-Sixth Paper. A GRAPHIC METHOD OF DETERMINING CERTAIN NUMERICAL FACTORS IN METABOLISM. **Journal of Biological Chemistry**, v. 59, n. 1, p. 51-58, 1924.

MOOKERJEE, Swapan; WELIKONICH, Michael J.; RATAMESS, Nicholas A. Comparison of energy expenditure during single-set vs. multiple-set resistance exercise. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 30, n. 5, p. 1447-1452, 2016.

MORRIS, Jeremiah N. et al. Coronary heart-disease and physical activity of work. **The Lancet**, v. 262, n. 6796, p. 1111-1120, 1953.

MÜLLER, M. J.; BOSY-WESTPHAL, A. Adaptive thermogenesis with weight loss in humans. **Obesity**, v. 21, n. 2, p. 218-228, 2013.

NGUYEN, Dac Minh Tuan et al. Assessment of physical activity and energy expenditure by GPS combined with accelerometry in real-life conditions. **Journal of Physical Activity and Health**, v. 10, n. 6, p. 880-888, 2013.

NINDL, Bradley C. et al. Physiological consequences of US Army Ranger training. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 39, n. 8, p. 1380-1387, 2007.

PAFFENBARGER JR, Ralph S. et al. The association of changes in physical-activity level and other lifestyle characteristics with mortality among men. **New England Journal of Medicine**, v. 328, n. 8, p. 538-545, 1993.

PARTINGTON, J. R. The discovery of oxygen. **J. Chem. Educ**, v. 39, n. 3, p. 123, 1962.

PERONNET, François et al. Table of nonprotein respiratory quotient: an update. **Can J Sport Sci**, v. 16, n. 1, p. 23-29, 1991.

PHILLIPS, Stuart M.; WINETT, Richard A. Uncomplicated resistance training and health-related outcomes: evidence for a public health mandate. **Current sports medicine reports**, v. 9, n. 4, p. 208, 2010.

PHILLIPS, Wayne TP; ZIURAITIS, Joana R. Energy cost of the ACSM single-set resistance training protocol. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 17, n. 2, p. 350-355, 2003.

POMERLEAU, Marjorie et al. Effects of exercise intensity on food intake and appetite in women. **The American journal of clinical nutrition**, v. 80, n. 5, p. 1230-1236, 2004.

PONTZER, Herman et al. Energy expenditure and activity among Hadza hunter-gatherers. **American Journal of Human Biology**, v. 27, n. 5, p. 628-637, 2015.

POOLE, David C.; JONES, Andrew M. Oxygen uptake kinetics. **Comprehensive Physiology**, 2012.

PUENTE, Fernando Rey. A morte como término, mas não como finalidade da vida em Aristóteles. **Síntese: Revista de Filosofia**, v. 29, n. 93, p. 95-102, 2010.

RATAMESS, Nicholas A. et al. The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. **European journal of applied physiology**, v. 100, n. 1, p. 1-17, 2007.

RAWSON, Eric S.; WALSH, Talia M. Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 42, n. 3, p. 622-628, 2010.

REDMAN, Leanne M. et al. Effect of caloric restriction in non-obese humans on physiological, psychological and behavioral outcomes. **Physiology & behavior**, v. 94, n. 5, p. 643-648, 2008.

REED, Jennifer L. et al. Energy availability discriminates clinical menstrual status in exercising women. **Journal of the International Society of Sports Nutrition**, v. 12, n. 1, p. 11, 2015.

REEVE, Michael D.; PUMPA, Kate L.; BALL, Nick. Accuracy of the SenseWear Armband Mini and the BodyMedia FIT in resistance training. **Journal of science and medicine in sport**, v. 17, n. 6, p. 630-634, 2014.

REIS, Rodrigo Siqueira; PETROSKI, Edio Luis; LOPES, A. da S. Medidas da atividade física: revisão de métodos. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum**, v. 2, n. 1, p. 89-96, 2000.

REIS, Victor Machado et al. Energy cost of isolated resistance exercises across low- to high-intensities. **PloS one**, v. 12, n. 7, p. e0181311, 2017.

RIBATTI, Domenico. William Harvey and the discovery of the circulation of the blood. **Vascular Cell**, v. 1, n. 1, p. 3, 2009.

RICHARDSON, Henry B. et al. Clinical Calorimetry XLI. The Storage of Glycogen in Exophthalmic Goiter. **Journal of Biological Chemistry**, v. 67, n. 3, p. 737-751, 1926.

RICHARDSON, Henry B. et al. Clinical Calorimetry XXXIX. Exercise and the Respiratory Quotient in Diabetes. **Journal of Biological Chemistry**, v. 66, n. 1, p. 161-183, 1925.

RITCH, A. History of geriatric medicine: from Hippocrates to Marjory Warren. **JR Coll Physicians Edinb**, v. 42, n. 4, p. 368-74, 2012.

ROCHA, Joel et al. Effects of an acute bout of aerobic exercise on immediate and subsequent three-day food intake and energy expenditure in active and inactive men. **Appetite**, v. 71, p. 369-378, 2013.

ROUSSET, Sylvie et al. A Novel Smartphone Accelerometer Application for Low-Intensity Activity and Energy Expenditure Estimations in Overweight and Obese Adults. **Journal of medical systems**, v. 41, n. 8, p. 117, 2017.

SALE, Digby G. Influence of Exercise and Training on Motor Unit Activation. **Exercise and sport sciences reviews**, v. 15, n. 1, p. 95-152, 1987.

SAMITZ, Guenther; EGGER, Matthias; ZWAHLEN, Marcel. Domains of physical activity and all-cause mortality: systematic review and dose–response meta-analysis of cohort studies. **International journal of epidemiology**, v. 40, n. 5, p. 1382-1400, 2011.

SCHOFFELEN, P. F. M.; PLASQUI, G. Classical experiments in whole-body metabolism: open-circuit respirometry—diluted flow chamber, hood, or facemask systems. **European journal of applied physiology**, p. 1-17, 2017.

SCHWARTZ, A.; DOUCET, E. Relative changes in resting energy expenditure during weight loss: a systematic review. **obesity reviews**, v. 11, n. 7, p. 531-547, 2010.

SCOTT, Christopher B. Contribution of blood lactate to the energy expenditure of weight training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 20, n. 2, p. 404-411, 2006.

SCOTT, Christopher B. et al. Aerobic, anaerobic, and excess postexercise oxygen consumption energy expenditure of muscular endurance and strength: 1-set of bench press to muscular fatigue. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 903-908, 2011a.

SCOTT, Christopher B. Quantifying the immediate recovery energy expenditure of resistance training. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 1159-1163, 2011.

SCOTT, Christopher B.; CROTEAU, Alicia; RAVLO, Tyler. Energy expenditure before, during, and after the bench press. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 23, n. 2, p. 611-618, 2009.

SCOTT, Christopher B.; EARNEST, Conrad P. Resistance exercise energy expenditure is greater with fatigue as compared to non-fatigue. **Journal of Exercise Physiology online**, v. 14, n. 1, 2011b.

SCOTT, Christopher B.; LEARY, Michael P.; TENBRAAK, Andrew J. Energy expenditure characteristics of weight lifting: 2 sets to fatigue. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 36, n. 1, p. 115-120, 2010.

SCOTT, Joseph J. et al. Comparability and feasibility of wrist-and hip-worn accelerometers in free-living adolescents. **Journal of Science and Medicine in Sport**, 2017.

SHEPHARD, Roy J.; AOYAGI, Yukitoshi. Measurement of human energy expenditure, with particular reference to field studies: an historical perspective. **European journal of applied physiology**, v. 112, n. 8, p. 2785-2815, 2012.

SHERWOOD, Nancy E. et al. Predictors of weight gain in the Pound of Prevention study. **International journal of obesity**, v. 24, n. 4, p. 395, 2000.

SHIROMA, Eric J.; SESSO, Howard D.; LEE, I.-Min. Physical activity and weight gain prevention in older men. **International journal of obesity**, v. 36, n. 9, p. 1165-1169, 2012.

SIM, Aaron Y. et al. High-intensity intermittent exercise attenuates ad-libitum energy intake. **International journal of obesity**, v. 38, n. 3, p. 417-422, 2014.

SIRI, William E. et al. The gross composition of the body. **Adv Biol Med Phys**, v. 4, n. 239-279, p. 513, 1956.

SLENTZ, Cris A. et al. Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: STRRIDE—a randomized controlled study. **Archives of internal medicine**, v. 164, n. 1, p. 31-39, 2004.

SMITH, Edward. Experimental inquiries into the chemical and other phenomena of respiration, and their modifications by various physical agencies. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 149, p. 681-714, 1859.

STEC, Michael J.; RAWSON, Eric S. Estimation of resistance exercise energy expenditure using triaxial accelerometry. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 26, n. 5, p. 1413-1422, 2012.

STIEGLER, Petra; CUNLIFFE, Adam. The role of diet and exercise for the maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. **Sports medicine**, v. 36, n. 3, p. 239-262, 2006.

STUBBS, R. James et al. The effect of graded levels of exercise on energy intake and balance in free-living men, consuming their normal diet. **European journal of clinical nutrition**, v. 56, n. 2, p. 129, 2002.

STUBBS, R. James et al. The effect of graded levels of exercise on energy intake and balance in free-living women. **International journal of obesity**, v. 26, n. 6, p. 866, 2002.

TAVARES, Guilherme W.; PRADO, Alexandre GS. Calorímetro De Gelo: uma abordagem histórica e experimental para o ensino de química na graduação. **Quím. Nova**, v. 33, n. 9, p. 1987-1990, 2010.

THACKRAY, Alice E. et al. Exercise, appetite and weight control: are there differences between men and women?. **Nutrients**, v. 8, n. 9, p. 583, 2016.

THOMAS, D. M. et al. Why do individuals not lose more weight from an exercise intervention at a defined dose? An energy balance analysis. **Obesity Reviews**, v. 13, n. 10, p. 835-847, 2012.

THOMAS, D. Travis; ERDMAN, Kelly Anne; BURKE, Louise M. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 48, n. 3, p. 543-568, 2016.

THORNTON, M. Kathleen; POTTEIGER, Jeffery A. Effects of resistance exercise bouts of different intensities but equal work on EPOC. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 34, n. 4, p. 715-722, 2002.

THORNTON, M. Kathleen; ROSSI, Stephen J.; MCMILLAN, Jim L. Comparison of two different resistance training intensities on excess post-exercise oxygen consumption in African American women who are overweight. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 25, n. 2, p. 489-496, 2011.

TREMBLAY, A. et al. Adaptive thermogenesis can make a difference in the ability of obese individuals to lose body weight. **International journal of obesity**, v. 37, n. 6, p. 759-764, 2013.

TREMBLAY, Angelo; CHAPUT, Jean-Philippe. Adaptive reduction in thermogenesis and resistance to lose fat in obese men. **British journal of nutrition**, v. 102, n. 4, p. 488-492, 2009.

TSOFLIOU, F. et al. Moderate physical activity permits acute coupling between serum leptin and appetite-satiety measures in obese women. **International journal of obesity**, v. 27, n. 11, p. 1332-1339, 2003.

TUROCY, Paula Sammarone et al. National athletic trainers' association position statement: safe weight loss and maintenance practices in sport and exercise. **Journal of athletic training**, v. 46, n. 3, p. 322-336, 2011.

UEDA, Shin-ya et al. Changes in gut hormone levels and negative energy balance during aerobic exercise in obese young males. **Journal of Endocrinology**, v. 201, n. 1, p. 151-159, 2009.

UNICK, Jessica L. et al. Acute effect of walking on energy intake in overweight/obese women. **Appetite**, v. 55, n. 3, p. 413-419, 2010.

VIANNA, Jeferson M. et al. Oxygen uptake and heart rate kinetics after different types of resistance exercise. **Journal of human kinetics**, v. 42, n. 1, p. 235-244, 2014.

WALLEY, Keith R. Use of central venous oxygen saturation to guide therapy. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 184, n. 5, p. 514-520, 2011.

WASHBURN, Richard A. et al. Does the method of weight loss effect long-term changes in weight, body composition or chronic disease risk factors in overweight or obese adults? A systematic review. **PloS one**, v. 9, n. 10, p. e109849, 2014.

WASSE, Lucy K. et al. Influence of rest and exercise at a simulated altitude of 4,000 m on appetite, energy intake, and plasma concentrations of acylated ghrelin and peptide YY. **Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 4, p. 552-559, 2012.

WEINHEIMER, Eileen M.; SANDS, Laura P.; CAMPBELL, Wayne W. A systematic review of the separate and combined effects of energy restriction and exercise on fat-free mass in middle-aged and older adults: implications for sarcopenic obesity. **Nutrition reviews**, v. 68, n. 7, p. 375-388, 2010.

WEIR, JB de V. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. **The Journal of physiology**, v. 109, n. 1-2, p. 1-9, 1949.

WEISS, Edward P. et al. Lower extremity muscle size and strength and aerobic capacity decrease with caloric restriction but not with exercise-induced weight loss. **Journal of Applied Physiology**, v. 102, n. 2, p. 634-640, 2007.

WEST, John B. Joseph Black, carbon dioxide, latent heat, and the beginnings of the discovery of the respiratory gases. **American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology**, v. 306, n. 12, p. L1057-L1063, 2014.

WESTERTERP-PLANTENGA, Margriet S. et al. Acute effects of exercise or sauna on appetite in obese and nonobese men. **Physiology & behavior**, v. 62, n. 6, p. 1345-1354, 1997.

WESTERTERP, K. R. et al. Use of the doubly labeled water technique in humans during heavy sustained exercise. **Journal of Applied Physiology**, v. 61, n. 6, p. 2162-2167, 1986.

WESTERTERP, Klaas R. Diet induced thermogenesis. **Nutrition & metabolism**, v. 1, n. 1, p. 5, 2004.

WESTERTERP, Klaas R. et al. Long-term effect of physical activity on energy balance and body composition. **British Journal of Nutrition**, v. 68, n. 1, p. 21-30, 1992.

WHYBROW, Stephen et al. The effect of an incremental increase in exercise on appetite, eating behaviour and energy balance in lean men and women feeding ad libitum. **British Journal of Nutrition**, v. 100, n. 5, p. 1109-1115, 2008.

WILDER, RUSSELL M. Calorimetry: The Basis of the Science of Nutrition. **AMA archives of internal medicine**, v. 103, n. 1, p. 146-154, 1959.

WILLIAMS, H. B.; RICHE, J. A.; LUSK, Graham. ANIMAL CALORIMETRY SECOND PAPER. METABOLISM OF THE DOG FOLLOWING THE INGESTION OF MEAT IN LARGE QUANTITY. **Journal of Biological Chemistry**, v. 12, n. 3, p. 349-376, 1912.

WILLIAMS, N. I. et al. Estrogen and progesterone exposure is reduced in response to energy deficiency in women aged 25–40 years. **Human reproduction**, v. 25, n. 9, p. 2328-2339, 2010.

WILLIAMS, Nancy I. et al. Magnitude of daily energy deficit predicts frequency but not severity of menstrual disturbances associated with exercise and caloric restriction. **American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism**, v. 308, n. 1, p. E29-E39, 2014.

YU, Zhusheng et al. Comparison of heart rate monitoring with indirect calorimetry for energy expenditure evaluation. **Journal of Sport and Health Science**, v. 1, n. 3, p. 178-183, 2012.

ZATERKA, Luciana. Francis Bacon e a questão da longevidade humana. **Scientiae Studia**, v. 13, n. 3, p. 495-517, 2015.

ANEXO I – Termo de consentimento livre e esclarecido

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Convidamos o (a) Sr (a) para participar da Pesquisa “Gasto energético em exercícios resistidos”, sob a responsabilidade do pesquisador Rodrigo Ferro Magosso, a qual pretende estabelecer um modelo matemático de predição do gasto energético de exercícios de musculação. Sua participação é voluntária e se dará por meio de 9 visitas ao laboratório, que incluem testes de 1 repetição máxima (1RM), teste de 20 repetições máximas (20RM) e sessões de determinação do gasto energético em exercícios de musculação. Cada sessão terá duração aproximada de 45 minutos e o intervalo entre sessões será de 48 a 72 horas (2 a 3 dias). Os riscos decorrentes de sua participação na pesquisa são desconforto gerado pela máscara na análise de gases e punção da orelha e leve dor muscular causada pelos exercícios. A máscara tem objetivo de coletar todo o ar expirado pelo voluntário. Dessa forma, ela deve ser colocada no rosto de maneira a ficar justa, mas não apertada. O desconforto é gerado apenas pela eventual falta de familiaridade com o aparato. A punção é realizada para a coleta de amostras de 25µl de sangue, que são utilizados para a análise da concentração sanguínea de lactato. Nos protocolos de NMR, as coletas são feitas imediatamente antes do protocolo e nos minutos 3, 6, 9, 12, 15 e 30 após teste, totalizando 7 coletas. Nos protocolos de % do NMR, as coletas são feitas imediatamente antes e após 7 minutos do protocolo, totalizando 2 coletas. A dor muscular pode ocorrer nos indivíduos com menor nível de treinamento. Entretanto, ela é típica de treinamento de alto volume, por isso deve ser apenas discreta.

Se você aceitar participar, estará contribuindo para a criação de um modelo de predição do gasto energético da musculação. Se depois de consentir em sua participação o Sr (a) desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. O (a) Sr (a) não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração para participar da pesquisa. Caso necessário, o pesquisador tomará as providências de transporte para que você possa se apresentar ao laboratório de Fisiologia do Exercício da UFSCar. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade não será divulgada, sendo guardada em sigilo.

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar. O pesquisador me informou que o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da UFSCar que funciona na Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Federal de São Carlos, localizada na Rodovia Washington Luiz, Km. 235 - Caixa Postal 676 - CEP 13.565-905 - São Carlos - SP - Brasil. Fone (16) 3351-8110. Endereço eletrônico: cephumanos@ufscar.br

Endereço para contato (24 horas por dia e sete dias por semana):

Pesquisador Responsável: Rodrigo Ferro Magosso

Endereço: Av. Otto Werner Rosel, 811 – Condomínio Moradas 3 São Carlos – Casa 232

Contato telefônico: (16) 9.9720-8893 e-mail: rmagosso@hotmail.com

Local e data: São Carlos, de de 20

Pesquisador: Rodrigo Ferro Magosso **Voluntário:** __________
assinatura do pesquisador_____
assinatura do voluntário

UFSCAR - UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Gasto energético em exercícios resistidos

Pesquisador: Rodrigo Ferro Magosso

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 59168316.8.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências Humanas e Biológicas

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 1.852.753

Apresentação do Projeto:

O treinamento até a falha concêntrica pode alterar o gasto energético das sessões de treino, especialmente quando este é mensurado na unidade de calorias por repetição (KCal/rep). O objetivo deste estudo é formular um modelo matemático de predição do gasto energético de exercícios resistidos em função do percentual de 1 repetição máxima (%1RM) e do percentual do número máximo de repetições (%NMR). Os voluntários

comparecerão ao laboratório em 9 ocasiões. A primeira e a segunda visitas serão utilizadas para o teste de 1 repetição máxima (1RM). Na terceira sessão, será determinado o peso correspondente à série máxima de 20 repetições (SM20). Em seguida, os voluntários comparecerão a mais 3 sessões onde, em cada exercício, realizarão uma série máxima a 40%, 60% e 80% de 1RM e nas últimas três sessões serão realizadas 12, 16 e 20 repetições com o peso de SM20. As sessões 4 a 6 e 7 a 9 serão realizadas de maneira aleatória. OS dados serão avaliados em estatística descritiva, em seguida, uma regressão exponencial será aplicada nos valores para se chegar ao modelo matemático. Para este estudo, serão recrutados 30 voluntários dos gêneros masculino e feminino.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Determinar um modelo de predição de gasto energético pelo % de 1RM

Objetivo Secundário:

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

UF: SP

Telefone: (16)3351-9683

CEP: 13.565-905

Município: SAO CARLOS

E-mail: cephumanos@ufscar.br

Continuação do Parecer: 1.852.753

Determinar um modelo de predição de gasto energético pelo % do NMR

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Adequados. Os pesquisadores detalham todos os riscos como solicitado.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de pesquisa importante para a área em questão.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

O TCLE foi reformulado e encontra-se adequado à Resolução 466/12.

Recomendações:

-

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Projeto aprovado.

Considerações Finais a critério do CEP:

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_746246.pdf	09/11/2016 10:42:23		Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Brochura_projeto.docx	09/11/2016 10:41:29	Rodrigo Ferro Magosso	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.docx	09/11/2016 10:37:59	Rodrigo Ferro Magosso	Aceito
Folha de Rosto	Folhaderosto.pdf	12/08/2016 15:36:47	Rodrigo Ferro Magosso	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

CEP: 13.565-905

UF: SP **Município:** SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9683

E-mail: cephumanos@ufscar.br

UFSCAR - UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS



Continuação do Parecer: 1.852.753

SAO CARLOS, 06 de Dezembro de 2016

Assinado por:
Priscilla Hortense
(Coordenador)

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

CEP: 13.565-905

UF: SP **Município:** SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9683

E-mail: cephumanos@ufscar.br